



TUGAS AKHIR - TE 141599

**APLIKASI NON-DISPERSIVE INFRARED SENSOR UNTUK
MENGUKUR KONSENTRASI ALKOHOL**

Faraha Pambayun J.P
NRP. 2210100137

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Fajar Budiman, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TE 141599

**APLIKASI NON-DISPERSIVE INFRARED SENSOR UNTUK
MENGUKUR KONSENTRASI ALKOHOL**

Faraha Pambayun J.P
NRP. 2210100137

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Fajar Budiman, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**APLIKASI NON-DISPERSIVE INFRARED SENSOR UNTUK
MENGUKUR KONSENTRASI ALKOHOL
TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
NIP. 196904261994031003



Fajar Budiman, ST., M.Sc.
NIP. 198607072014041001



APLIKASI NON-DISPERSIVE INFRARED SENSOR UNTUK MENGUKUR KONSENTRASI ALKOHOL

Faraha Pambayun J.P
2210100137

Dosen Pembimbing I : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Fajar Budiman, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Pengukuran konsentrasi alkohol merupakan hal yang sangat penting dalam pencampuran suatu larutan kimia. Pada umumnya, pengukuran konsentrasi alkohol menggunakan metode yang konvensional yang membutuhkan kontak langsung dengan cairan alkohol dan membutuhkan waktu yang cukup lama, contohnya menggunakan sensor kapasitif. Metode lain adalah *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) yang mampu mengukur konsentrasi alkohol tanpa ada kontak langsung dan membutuhkan waktu uji yang relatif cepat. Pada sistem NDIR, sinar infra merah yang dikeluarkan oleh sumber akan melewati tabung sampel sehingga sinar akan diserap oleh partikel hidrokarbon dari alkohol yang kemudian dibaca oleh sensor inframerah. Pada tugas akhir ini, sumber sinar inframerah yang digunakan berasal dari sebuah kawat nikelin berukuran 19 Gauge yang dipanaskan pada suhu 60°C dengan kontrol PID, dimana pada suhu ini sumber inframerah berada pada penyerapan alkohol yang paling baik. Sinar inframerah yang terserap akan diterima oleh thermopile yang kemudian dikonversikan menjadi tegangan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai penyerapan alkohol pada suhu 60°C berbanding lurus terhadap besarnya konsentrasi, semakin besar konsentrasi maka semakin besar nilai absorbansinya. Nilai absorbansi pada aquades adalah 0 sedangkan nilai absorbansi pada alkohol 20% berada pada 0.15 dan alkohol 60% adalah 0.26. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi alkohol maka sinar inframerah yang diserap akan semakin banyak.

Kata Kunci : sensor inframerah, non-dispersif, etanol, konsentrasi, Thermopile, PID

(halaman ini sengaja dikosongkan)

APLIKASI NON-DISPERSIVE INFRARED SENSOR UNTUK MENGUKUR KONSENTRASI ALKOHOL

Faraha Pambayun J.P
2210100137

Dosen Pembimbing I : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Fajar Budiman, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Pengukuran konsentrasi alkohol merupakan hal yang sangat penting dalam pencampuran suatu larutan kimia. Pada umumnya, pengukuran konsentrasi alkohol menggunakan metode yang konvensional yang membutuhkan kontak langsung dengan cairan alkohol dan membutuhkan waktu yang cukup lama, contohnya menggunakan sensor kapasitif. Metode lain adalah *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) yang mampu mengukur konsentrasi alkohol tanpa ada kontak langsung dan membutuhkan waktu uji yang relatif cepat. Pada sistem NDIR, sinar infra merah yang dikeluarkan oleh sumber akan melewati tabung sampel sehingga sinar akan diserap oleh partikel hidrokarbon dari alkohol yang kemudian dibaca oleh sensor inframerah. Pada tugas akhir ini, sumber sinar inframerah yang digunakan berasal dari sebuah kawat nikelin berukuran 19 Gauge yang dipanaskan pada suhu 60°C dengan kontrol PID, dimana pada suhu ini sumber inframerah berada pada penyerapan alkohol yang paling baik. Sinar inframerah yang terserap akan diterima oleh thermopile yang kemudian dikonversikan menjadi tegangan. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai penyerapan alkohol pada suhu 60°C berbanding lurus terhadap besarnya konsentrasi, semakin besar konsentrasi maka semakin besar nilai absorbansinya. Nilai absorbansi pada aquades adalah 0 sedangkan nilai absorbansi pada alkohol 20% berada pada 0.15 dan alkohol 60% adalah 0.26. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi alkohol maka sinar inframerah yang diserap akan semakin banyak.

Kata Kunci : *sensor inframerah, non-dispersif, etanol, konsentrasi, Thermopile, PID*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul **“APLIKASI NON-DISPERSIVE INFRARED SENSOR UNTUK MENGUKUR KONSENTRASI ALKOHOL”**. Tugas akhir merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak sehinggalah kendala-kendala tersebut dapat diatasi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Jasmono, S.Sos, M.Si dan Ibu Dra. Juli Purwanti yang senantiasa memberi doa, nasihat, motivasi dan dukungan penuh berupa materi yang tidak terbatas maupun rohani. Serta tidak lupa kepada adik saya tercinta, Firmanda Reditza Julismana sumber semangat dan motivasi.
2. Bapak Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. selaku dosen pembimbing pertama atas bimbingan, inspirasi, pengarahan dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Fajar Budiman, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua atas bimbingan, inspirasi, pengarahan dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
4. Evlina Noviyanti dan keluarga yang telah memberikan dukungan penuh untuk segera menyelesaikan pendidikan strata serta motivasi semangat dan cintanya yang tiada henti .
5. Rizki Anhar, ST., dan Tonny Feriandi ST., yang telah memberikan ajakan dan semangatnya untuk berada di lab B402 secara konsisten memberikan saran dan kritik yang membangun untuk proses pembuatan Tugas akhir penulis.
6. Bakti Waluyo S.Pd, Bagus Prasetyo S.Pd, Happy Nugroho S.Kom, Gus Dur S.St dan M. Agung Nursyeha yang telah membantu dan berkontribusi selama analisa dan pengujian dalam penelitian tugas akhir ini serta menghibur penulis dengan cara berwisata dan berkuliner.

7. Teman-teman seperjuangan ELKA di B202, B205 dan B402 serta teman-teman angkatan 2010, 2011 dan 2012 Teknik Elektro ITS.
8. Teman-Teman UKM Badminton IBC yang telah membantu memberi motivasi dan menemani bermain Badminton selama di ITS.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi	5
BAB II	7
2.1. Gas dan Uap	7
2.2. Alkohol	8
2.3. Infra Merah.....	10
2.4. Non-Dispersif Inframerah	12
2.5. Sumber Inframerah	13
2.6. Thermopile	14
2.7. Sensor Suhu LM35	16
2.6.1 Karakteristik Sensor LM35	19
2.6.2 Prinsip Kerja Sensor LM35	20
2.8. Penguat Non-Inverting	21
2.9. Penguat Differential	22
2.10. Low Pass Filter	23
2.11. Instrumentasi Operasional Amplifier OP27	26
2.12. Mikrokontroler STM32F4-Discovery	27
2.12.1 Deskripsi Pin	27
2.12.2 ADC Internal	28
2.13. Komunikasi Serial	29
2.13.1 MAX 232.....	29
2.13.2 USB to Serial	31

2.14. Kontrol Suhu	31
BAB III	35
3.1 Diagram Blok Sistem	35
3.2 Perancangan Perangkat Keras Aliran Udara	37
3.2.1 Perancangan Silica Gel	37
3.2.2 Perancangan Pompa Udara	38
3.2.3 Perancangan Wadah Sampel	39
3.3 Perancangan Perangkat Keras Sensor	40
3.4.1 Sistem Non-Dispersif Infrared (NDIR)	40
3.4.1.1 Rangkaian Driver Sumber Inframerah	40
3.4.1.2 Rangkaian Sensor Suhu	42
3.4.1.3 Tabung Sample	43
3.4.1.4 Rangkaian Penguat Thermopile	43
3.4.2 Sistem Power Supply	46
3.4.3 Modul STM32F4	47
3.4 Perancangan Software & Pembacaan Sensor	48
3.4.1 Pembacaan Nilai Thermopile	48
3.4.2 Akuisisi Data LM35	48
3.4.3 Akuisisi Data Thermopile	49
BAB IV	51
4.1 Realisasi Hardware	52
4.1.1 Diagram Sistem	52
4.1.2 Tabung Sampel	53
4.2 Komunikasi Serial	54
4.3 Analog to Digital Converter	54
4.4 Pengujian PWM STM32F4	56
4.5 Pengujian Kontrol Sumber Inframerah	58
4.6 Pengujian Non-Inverting Amplifier	61
4.7 Pengujian Sensor Thermopile	64
4.7.1 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu Ruangan	64
4.7.2 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 40 ° C	65
4.7.3 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 50 ° C	66
4.7.4 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 60 ° C	67
4.7.5 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 70 ° C	68
4.8 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu Ruangan	69
4.8.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades	69
4.8.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %	70
4.8.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %	71
4.9 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 50 ° C	71

4.9.1	Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades	71
4.9.2	Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %	72
4.9.3	Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %	73
4.10	Pengujian Sistem NDIR pada pada Suhu 60 ° C	74
4.10.1	Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades	75
4.10.2	Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %	75
4.10.3	Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %	76
4.11	Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 70 ° C	77
4.11.1	Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades	78
4.11.2	Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %	79
4.11.3	Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %	79
4.12	Pengujian Error Sistem NDIR	80
BAB V.....		81
5.1.	Kesimpulan	81
5.2.	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN		85
BIODATA PENULIS.....		99

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	2
Gambar 2.1. Skema penyerapan IR etanol [4]	9
Gambar 2.2 Gelombang Elektromagnetik-Region Inframerah.....	10
Gambar 2.3 Hubungan Panjang Gelombang dengan Output temperature Berdasarkan Hukum Plank.....	11
Gambar 2.4 Non-Dispersive IR (NDIR).....	12
Gambar 2.5 Kawat Nikrom 19 gauge 0.9 mm	13
Gambar 2.6 Ilustrasi Hukum Seebeck	14
Gambar 2.7 Bentuk Thermopile TS-118	15
Gambar 2.8 Bentuk Output Thermopile vs Suhu.....	16
Gambar 2.9 Sensor Suhu LM35	16
Gambar 2.11 Bentuk LM35 dilihat dari atas	20
Gambar 2.12 Rangkaian Penguat Non-Inverting	21
Gambar 2.13 Rangkaian Penguat Differential	22
Gambar 2.14 Rangkaian Low Pass Filter Pasif orde 1	24
Gambar 2.16 Deskripsi PIN OP27	26
Gambar 2.18 Deskripsi Pin MAX 232	30
Gambar 2.19 USB ADAPTER.....	31
Gambar 2.20 Metode Tuning Ziegler-Nichols I	32
Gambar 2.21 Reaksi Sistem Open-Loop ketika diberi Input Step	32
Gambar 2.22 Bentuk Diagram PID	33
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	36
Gambar 3.2 (a) Silika Gel kondisi jenuh; (b) Silica Gel kondisi baik.	38
Gambar 3.3 Silica Gel yang digunakan	38
Gambar 3.4 Pompa Udara.....	39
Gambar 3.5 Integrasi Pompa Udara	39
Gambar 3.6 Sampel Botol.....	39
Gambar 3.7 Rangkaian Driver Kawat Nikrom dengan tegangan AC ..	40
Gambar 3.8 Rangkaian Sensor Suhu	42
Gambar 3.9 Tabung Sampel	42
Gambar 3.10 Non-Inverting Amplifier 11x	44
Gambar 3.11 Penguat Tambahan dengan gain 100x	44
Gambar 3.12 Power Supply	45
Gambar 3.13 Terminal Parallel	46

Gambar 3.14 Penstabil Tegangan 7805	46
Gambar 3.15 Modul STM32F4	47
Gambar 3.16 Diagram Blok Akuisisi Data LM35	49
Gambar 3.17 Diagram Blok Akuisisi Data Thermopile	49
Gambar 4.1 Mekanik Utama NDIR	53
Gambar 4.2 Blok Sensor NDIR	53
Gambar 4.3 Tabung Sampel dengan penyangga	54
Gambar 4.4 Grafik Vin VS Vadc	56
Gambar 4.5 Osiloskop ketika CCR 575	57
Gambar 4.6 Osiloskop ketika CCR 1050	57
Gambar 4.7 Osiloskop ketika CCR 1575	58
Gambar 4.8 Hasil Pengujian LM35 dan Termometer Digital	59
Gambar 4.9 Grafik Respon Suhu (a) SetPoint 40 (b) SetPoint 50 (c) SetPoint 60 (d) SetPoint 70.....	61
Gambar 4.10 Grafik Vin VS Vout Non Inverting Amplifier	63
Gambar 4.11 Grafik Keluaran Thermopile Suhu Ruangan.....	64
Gambar 4.12 (a) Grafik Sumber IR 40 ° C (b) Respon Thermopile.....	65
Gambar 4.13 (a) Grafik Sumber IR 50 ° C (b) Respon Thermopile.....	66
Gambar 4.14 (a) Grafik Sumber IR 60 ° C (b) Respon Thermopile.....	67
Gambar 4.15 (a) Grafik Sumber IR 70 ° C (b) Respon Thermopile.....	68
Gambar 4.16 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu Ruangan.....	70
Gambar 4.17 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu Ruangan	70
Gambar 4.18 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu 50 C	72
Gambar 4.20 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 60% Suhu 50°C.....	74
Gambar 4.21 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu 60°C.....	75
Gambar 4.22 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu 60°C.....	76
Gambar 4.24 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu 70°C.....	78
Gambar 4.25 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu 70°C.....	79
Gambar 4.26 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 60% Suhu 70°C.....	79
Gambar 4.27 Grafik VS Hasil Pengujian	80

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 ADC Pins STM32F4.....	29
Tabel 2.2 Fungsi driver dan receiver pada MAX232.....	30
Tabel 2.2 Tuning PID metode Ziegler-Nichols	32
Tabel 4.1 Pengujian Komunikasi Serial	55
Tabel 4.2 Pengujian ADC STM32F4	55
Tabel 4.3. Pengujian PWM STM32F4	58
Tabel 4.4 Efek yang disebabkan oleh parameter kontrol PID	61
Tabel 4.5 Pengujian Non-Inverting	62
Tabel 4.6 Pengujian Keluaran Thermopile	64
Tabel 4.7 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu Ruangan	69
Tabel 4.9 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 50 ° C	71
Tabel 4.10 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 60 ° C	74
Tabel 4.11 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 70 ° C	77
Tabel 4.12 Pengujian Error Sistem NDIR	80

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini inframerah merupakan hal yang sudah tidak asing lagi dikalangan masyarakat. Inframerah biasa digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari bidang keamanan, automasi, komunikasi, industri, analisa, kedokteran dan sebagainya. Misalnya pada bidang analisa, untuk mengukur konsentrasi alkohol biasanya digunakan proses kimia yang memakan waktu serta perlu untuk menyentuh sampel itu sendiri. Oleh karena itu dapat digunakan gelombang inframerah mendeteksi konsentrasi cairan satu dengan yang lain. Tidak hanya pada bidang analisa saja, fungsi tersebut dapat diaplikasikan pada bidang kedokteran.

Non-Dispersive Infrared (NDIR), atau yang biasa disebut inframerah tak mengurai merupakan metode untuk mendeteksi konsentrasi gas yang biasa digunakan pada penelitian. Prinsip utama dari sistem ini adalah penyerapan partikel dari cairan. Sistem dapat dengan mudah mendeteksi konsentrasi suatu cairan. Namun, sistem ini hanya dapat mendeteksi satu jenis konsentrasi cairan dalam satu waktu. Sehingga lebih cepat dan presisi, akan tetapi sistem ini juga dapat mendeteksi cairan yang lain dengan syarat sistem harus dikalibrasi terlebih dahulu.

Pada Tugas Akhir ini, akan dirancang suatu sistem NDIR dengan sumber inframerah yang mengeluarkan intensitas inframerah yang konstan untuk mengukur konsentrasi alkohol dengan cepat dan tepat, tanpa menyentuh isi dari alkohol tersebut, sehingga kemurnian suatu cairan akan tetap, dengan bentuk yang lebih kecil dan lebih murah dibanding sensor IR Dispersive.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir dirinci sebagai berikut.

1. Bagaimana membuat sistem NDIR?
2. Bagaimana cara akuisi data konsentrasi cairan menggunakan sistem NDIR?
3. Bagaimana mengontrol suhu pada sumber NDIR?
4. Bagaimana menampilkan informasi konsentrasi cairan?

1.3. Tujuan

Berdasarkan pada rumusan masalah, maka tujuan penelitian pada tugas akhir ini dirinci sebagai berikut.

1. Mampu membuat sistem NDIR dengan baik
2. Mampu membangun alat akuisisi data konsentrasi cairan
3. Mampu membangun sumber inframerah yang murah dan mudah serta dapat mengatur suhunya secara stabil dengan kontrol PID
4. Mampu menampilkan informasi konsentrasi pada display komputer

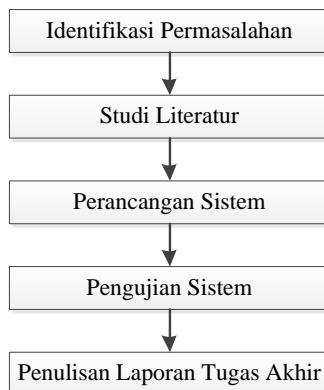
1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini dirinci sebagai berikut.

1. Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini larutan yang digunakan sebagai sampel uap alkohol
2. Untuk konsentrasi alkohol dibatasi sebanyak 3 konsentrasi
3. Jarak antara sumber inframerah dan penerima inframerah 3.5 cm

1.5. Metodologi

Langkah-langkah yang dikerjakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

IDENTIFIKASI PERMASALAHAN

Identifikasi masalah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi studi tentang komponen kawat nikelin (nichrome) sebagai sumber inframerah yang digunakan untuk meneliti penyerapan konsentrasi larutan alkohol, serta thermopile sebagai penerima inframerah (sensor), parameter-parameter yang mempengaruhi keluaran sensor thermopile, sistem non-dispersif secara umum.

STUDI LITERATUR

Tahap studi literatur meliputi beberapa hal berikut ini.

1. Mempelajari cara kawat nikelin bekerja.
2. Mempelajari karakteristik thermopile.
3. Menganalisa proses non-dispersive infrared.

PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang dirancang terdiri dari dua bagian utama, yaitu sistem akuisisi data dan sistem pemrosesan data. Pada bagian sistem akuisisi data terdapat sumber inframerah, sampel, penerima inframerah sedangkan di dalam bagian sistem pemrosesan data terdapat mikrokontroler dan PC sebagai *interface* untuk pengguna. Pada bagian sistem akuisisi data, terletak pada mikrokontroler. Berikutnya dilakukan identifikasi dan hasilnya ditampilkan pada monitor PC. Kedua bagian tersebut dapat dibagi lagi menjadi dua tahapan, yaitu tahapan perancangan *software* dan *hardware*. Tahapan perancangan *software* meliputi penulisan program untuk pengolahan data thermopile dan program untuk identifikasi alkohol, sedangkan dalam perancangan *hardware* meliputi perancangan dan pengemasan alat hingga menjadi sebuah sistem.

PENGUJIAN SISTEM

Ada beberapa pengujian yang dilakukan dalam tugas akhir ini, yaitu:

1. Pengujian Kontrol Suhu dari kawat nikelin
2. Pengujian Thermopile pada sistem
3. Pengujian penyerapan alkohol pada sistem

PENULISAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Tahap ini adalah tahap terakhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini. Tahap ini dimulai saat pengambilan data. Laporan tugas akhir ini berisi tentang seluruh kegiatan yang dilakukan selama mengerjakan tugas akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Buku tugas akhir disusun dengan penjelasan mengenai sistem yang dibuat yang terjabarkan dalam lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut.

BAB I: PENDAHULUAN

Bagian ini menjelaskan tentang dasar penyusunan tugas akhir yang terdiri dari beberapa sub bagian, yaitu latar belakang, permasalahan dan batasannya, tujuan yang diharapkan, metodologi pengerjaan tugas akhir, relevansi serta sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini menjelaskan tentang metode-metode klasifikasi dan pengujian yang pernah diteliti sebelumnya. Selain itu, pada bagian ini juga dijelaskan dasar-dasar teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini, meliputi teori yang terkait dengan pengembangan sistem non-dispersive infrared.

BAB III: PERANCANGAN SISTEM

Bagian ini berisi perancangan sistem yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu sistem akuisisi data dan sistem pemrosesan data. Bagian akuisisi data terdiri dari bagan-bagan dari sistem yang digunakan untuk pengambilan data, sedangkan bagian pemrosesan data terdiri dari program untuk mengolah data dan program untuk klasifikasi.

BAB IV: PENGUJIAN

Bagian ini akan menjelaskan mengenai cara kerja sistem non-dispersive infrared dan analisisnya.

BAB V: PENUTUP

Bagian ini merupakan bagian akhir yang berisikan kesimpulan dan saran untuk pengembangan rancangan sistem non-dispersive infrared berikutnya.

1.7. Relevansi

Matakuliah yang mendukung tugas akhir ini adalah Divais Optoelektronika, Teknik Akuisisi Data dan beberapa referensi tentang analisa bahan-bahan alkohol. Hasil akhir penelitian ini berupa *prototype* yang diharapkan dapat dikembangkan dan diimplementasikan sebagai alat bantu pendeteksi nafas beralkohol dengan konsentrasi tertentu.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

Dasar teori dalam bab ini menjabarkan tentang berbagai teori yang dapat digunakan sebagai penunjang pengembangan sistem non-dispersive sedangkan pada bagian tinjauan pustaka dijabarkan tentang sistem yang pernah dikembangkan dan diimplementasikan dalam penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini.

2.1. Gas dan Uap

Pada umumnya benda memiliki tiga bentuk, yaitu padatan, cairan, atau gas. Pengamatan ini hampir tidak memerlukan perhatian, kita dapat memahaminya secara intuitif. Meskipun demikian, kita perlu berusaha untuk menerangkan sifat-sifat fisisnya, atau keadaan zat secara lebih terinci.

Keadaan gas adalah keadaan yang paling sederhana untuk dipahami dari ketiga bentuk itu. Perilaku gas telah digambarkan dengan jelas pada penemuan hukum gabungan kimia, pada pembuktian teori atom Dalton. Dalam teori terbaru telah diterima untuk menjelaskan perilaku gas dikembangkan pada pertengahan abad ke 19, yaitu teori kinetika molekul gas yang berdasarkan model berikut :

1. Gas terdiri dari partikel-partikel sangat kecil yang disebut molekul (atau pada kasus tertentu atom).
2. Molekul-molekul bergerak secara konstan dan acak di dalam volume gas. Sebagai hasil dari gerakannya sering terjadi tumbukan di antara molekul itu sendiri dan dengan dinding wadahnya.
3. Molekul gas umumnya dipisahkan dalam jarak yang cukup jauh. Sebagai hasilnya mereka hanya memiliki bagian yang sangat kecil dari volume total gas. Pada kenyataannya, molekul dianggap sebagai titik massa.
4. Tumbukan di antara molekul bersifat elastik. Masing-masing molekul bisa mendapatkan atau kehilangan energi sebagai hasil dari tumbukannya. Meskipun demikian, dalam sekumpulan molekul pada suhu konstan, energi total akan konstan.

Berikut terdapat beberapa sifat gas :

1. Gas tidak kasat mata dalam arti bahwa tidak ada partikel-partikel gas yang dapat dilihat.
2. Gas akan memuai memenuhi ruangan dan akan menyerupai bentuk ruang tempatnya berada.
3. Semua zat yang bersifat gas dapat berbaur dengan dengan sesamanya dan akan bercampur dalam segala perbandingan, karena itu semua campuran gas adalah larutan yang homogen.
4. Beberapa gas berwarna, seperti gas klor (kuning kehijauan-hijauan), brom (merah kecoklat-coklatan) dan iod (ungu). Beberapa gas mudah meledak, seperti gas hidrogen. Beberapa gas di antaranya secara kimiawi bersifat lembab (inert), seperti helium dan neon.

Empat sifat dasar yang menentukan tingkah laku fisis dari gas adalah banyaknya molekul gas, volume, suhu dan tekanan. Dari nilai-nilai numeris tiga besaran yang diketahui, tentunya dapat dihitung nilai besaran keempat. Perhitungan ini bisa diselesaikan melalui persamaan keadaan. Pada prinsipnya semua, atau paling tidak beberapa sifat gas lainnya dapat dihitung melalui persamaan keadaan [1].

Uap merupakan fase gas dari suatu benda yang sebelumnya berupa padatan ataupun cairan pada suhu dan tekanan normal. Uap dapat tersusun dari unsur organik maupun anorganik, contohnya seperti Hg, H₂O, benzena, acetone, dan ethanol. Baik uap maupun gas akan terdistribusi secara merata pada suatu ruang, hal ini sesuai dengan konsep konsentrasi gas yang dihitung dari perbandingan total nilai gas ataupun uap dengan nilai volume total udara dalam suatu ruang. Konsentrasi dari gas maupun uap dapat dirumuskan sebagai berikut [2]

$$C = \frac{\text{mass contaminan } t}{\text{volume air}} = \frac{\text{volume contaminan } t}{\text{volume air}} \quad (2.1)$$

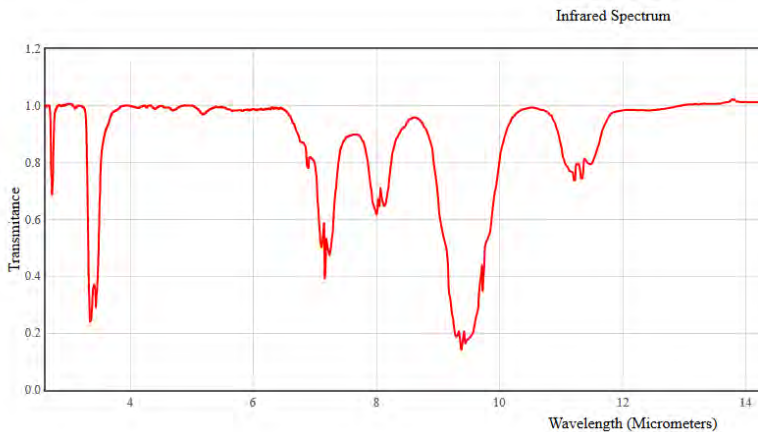
2.2. Alkohol

Alkohol adalah kelompok senyawa yang mengandung satu atau lebih gugus fungsi hidroksil (-OH) pada suatu senyawa alkana. Alkohol dapat dikenali dengan rumus umumnya R-OH. Alkohol

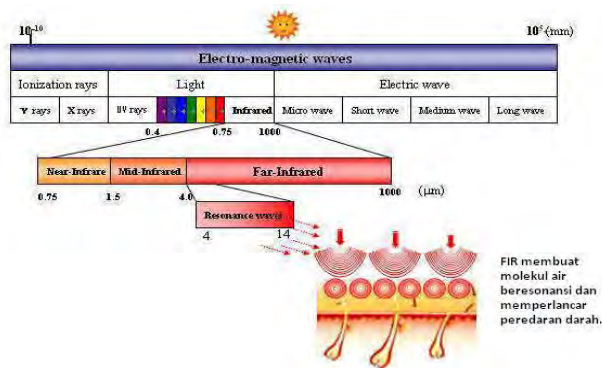
merupakan salah satu zat yang penting dalam kimia organik karena dapat diubah dari banyak tipe senyawa lainnya.

Salah satu senyawa alkohol yaitu etanol (etil alkohol) adalah salah satu senyawa yang dapat ditemukan pada minuman beralkohol dan termometer modern serta memiliki rumus kimia $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ [3]. Etanol termasuk obat psikoaktif, yang berarti zat atau bahan yang bekerja secara selektif terutama pada otak sehingga dapat menimbulkan perubahan perilaku, emosi, persepsi dan kesadaran sistem saraf otak. Karena efek yang demikian sehingga harus ada batas pemakaian tertentu dalam suatu minuman atau makanan. Pemurnian etanol yang mengandung air dengan cara penyulingan biasa hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian 96%. Etanol adalah cairan tak berwarna yang mudah menguap dengan aroma yang khas pada konsentrasi tertentu. Ia terbakar tanpa asap dengan lidah api berwarna biru yang kadang-kadang tidak dapat terlihat pada cahaya biasa. Penyerapan inframerah untuk zat etanol dapat dilihat pada gambar 2.1. Untuk menggabungkan sebuah larutan alkohol dengan cairan aquades untuk mengencerkan diperlukan rumus pengencer larutannya, sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2 \quad (2.2)$$



Gambar 2.1. Skema penyerapan IR etanol [4]



Gambar 2.2 Gelombang Elektromagnetik-Region Inframerah

2.3. Infra Merah

Inframerah adalah bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang antara 0.7 – 1000 μm . Sebenarnya, batas tersebut tidak mutlak karena respon mata terhadap gelombang cahaya hanya berkurang secara bertahap pada region tersebut. Cahaya inframerah diklasifikasikan menjadi tiga bagian, yaitu :

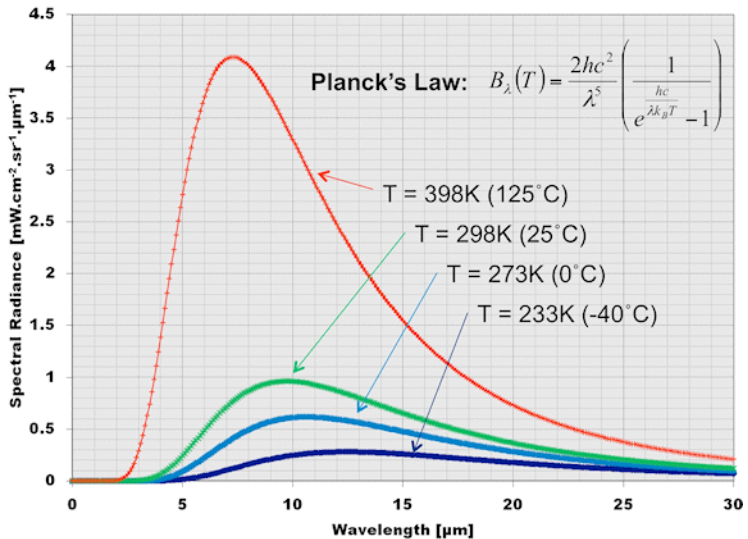
1. Near Infrared
Near infrared didefinisikan sebagai gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 750 nm dan 1500 nm. LED yang memancarkan panjang gelombang ini tergolong berbahaya bagi mata dan dapat merusak bagian sensitif di retina.
2. Middle Infrared
Middle Infrared didefinisikan sebagai gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 1.500 dan 4.000 nm. Pada region ini, gelombang masih aman jika dilihat oleh mata, karena cahaya ini diserap pada mata sebelum cahaya itu sampai pada retina.
3. Far Infrared
Far Infrared didefinisikan sebagai gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang antara 4.000 nm dan 1.000.000 nm. Segala benda yang

mengeluarkan panas, benda tersebut pasti mengeluarkan inframerah.

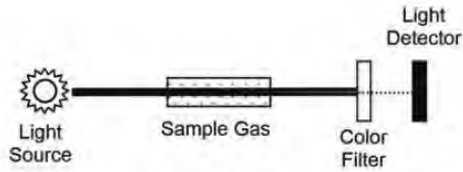
Menurut hukum *Wien's Displacement*, panjang gelombang inframerah memiliki hubungan berbanding terbalik dengan suhu. Berikut ini persamaan yang mewakili hukum *Wien's Displacement*, yaitu :

$$\lambda = \frac{b}{T} \quad (2.3)$$

λ adalah panjang gelombang inframerah dalam satuan nm, b adalah konstanta *Wien* dan T adalah suhu dalam satuan kelvin. Dari rumus di atas dapat diperkirakan panjang gelombang inframerah pada suhu tertentu. Di dalam konstanta *Wien*, terdapat konstanta *Planck* sebagai acuan radiasi benda hitamnya yang grafiknya bisa dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Hubungan Panjang Gelombang dengan Output temperature Berdasarkan Hukum Plank



Gambar 2.4 Non-Dispersive IR (NDIR)

2.4. Non-Dispersif Inframerah

Non-dispersive infrared pada Gambar 2.4 merupakan sebuah metode spektroskopi sensor yang biasa digunakan mendeteksi gas. Disebut non-dispersive karena metode ini melewati semua sinar inframerah melalui tabung sampel tanpa deformasi. Kelebihan dari sistem ini adalah sistem ini menggunakan desain yang simple, kecil dan juga menggunakan komponen-komponen yang murah[5]. NDIR juga menggunakan sensor *non-contact* yang sensitif terhadap perubahan konsentrasi jenis gas dengan perubahan kecil.

Terdapat tiga komponen utama dari non-dispersive infrared sensor yaitu, sumber inframerah, tabung sampel dan pendeteksi inframerah. Cahaya inframerah di arahkan melalui tabung sampel menuju detektor inframerah, secara bersamaan ada tabung sampel yang lain yang berisi gas referensi sebagai pembanding biasanya udara bersih [6].

Setiap cairan memiliki jenis dan konsentrasi molekul yang berbeda-beda. Pada spektrofotometri, penyerapan pada jenis dan konsentrasi molekul yang berbeda-beda ini yang akan dideteksi dan diukur. Penyerapan pada molekul ini didasarkan pada hukum *Beer-Lambert*. Gas pada tabung sampel menyebabkan penyerapan pada panjang gelombang tertentu menurut hukum Beer-Lambert Law. Berikut ini persamaan dari hukum Beer-Lambert Law, yaitu : [7]

$$A = 10 \log \frac{I_0}{I} \quad (2.4)$$



Gambar 2.5 Kawat Nikrom 19 gauge 0.9 mm

Berikut penjelasan dari persamaan 2.4, A adalah *absorbance* yang merupakan rasio logaritmik dari radiasi yang dipaparkan ke dalam tabung yang berisi udara bersih terhadap radiasi yang ditransmisikan ke dalam tabung yang berisi uap alkohol. I_0 adalah nilai radiasi yang ditransmisikan oleh sumber inframerah ketika tabung berisi udara bersih. Sedangkan I merupakan nilai radiasi yang ditransmisikan oleh sumber inframerah ketika tabung berisi uap alkohol. Pada perhitungan *absorbance* menggunakan rasio logaritmik berbasis 10, selain 10 adalah bilangan natural juga untuk menghitung kelipatan 10 dari perbandingan I_0 dengan I .

2.5. Sumber Inframerah

Sumber Inframerah adalah sebuah benda yang mengeluarkan atau mengemisikan sinar inframerah, perlu diketahui setiap benda yg mengeluarkan panas bisa menjadi sumber inframerah. Akan tetapi panjang gelombangnya berbeda-beda tergantung suhu dari panas tersebut. Pada penelitian ini akan digunakan sumber inframerah berbahan dasar nikrom.

Kawat nikrom atau yang biasa disebut nikelin, adalah kawat yang biasa digunakan sebagai kawat pemanas, selain harganya yang murah, sumber inframerah ini memiliki rentang panjang gelombang yang besar yaitu antara $0.7 - 20 \mu\text{m}$. Bentuk kawat nikrom seperti Gambar 2.5. Kawat ini juga memiliki titik leleh yang tinggi berada sekitar 1400°C .

Untuk membuat kawat ini panas dibutuhkan sebuah driver berisi *optocoupler* untuk membedakan *ground* dari mikrokontroler dengan sumber tegangan AC. Lalu juga terdapat Triac sebagai komponen yang membantu mengatur menyalakan dan mematikan tegangan AC. Arus

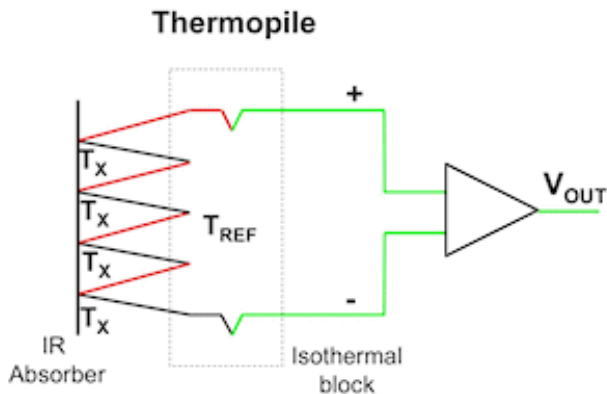
yang mengalir ke kawat ini maksimal 3 Ampere. Perlu diketahui kawat ini bersifat resistif dan memiliki resistansi sebesar 1.5 ohm dengan panjang 10 cm.

Sumber ini tidak bisa langsung mengeluarkan logika 1 atau 0 karena seperti kawat pada umumnya panas suatu konduktor menurun secara perlahan. Kawat Nichrome ini memanfaatkan hukum *Wien's displacement* atau biasa disebut hukum pergeseran Wien, yang berbunyi “Panjang gelombang yang membuat intensitas radiasi maksimum untuk suatu benda hitam (λ_{max}) bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek begitu suhu benda hitam menjadi lebih panas.”. Berikut ini pemaparan rumusnya

$$\text{Lambda} = \frac{b}{T} \quad (2.5)$$

b : Konstanta Wien's = $2,898 \times 10^{-3}$ m K
 Lambda : Panjang Gelombang (μm)
 T : Suhu Benda (Kelvin)

2.6. Thermopile



Gambar 2.6 Ilustrasi Hukum Seebeck

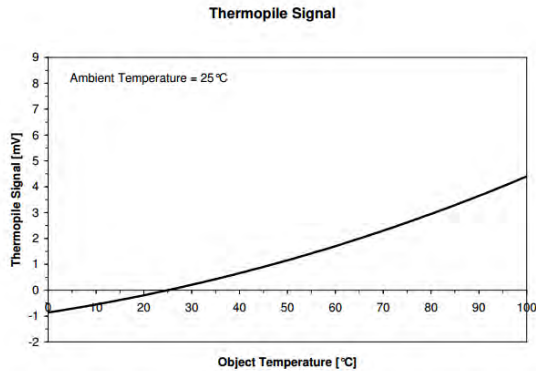
Thermopile merupakan sebuah komponen elektronik yang mengkonversi energi panas menjadi energi listrik yang kecil dalam orde μm . Thermopile terdiri dari beberapa *thermocouple* yang terhubung secara seri, tetapi lebih sering secara paralel. Suhu dari sambungan panas *thermocouple* meningkat sampai tingkat energi yang diimbangi oleh kerugian konduksi, konveksi dan radiasi pada lingkungan itu. Keseimbangan suhu dan keluaran termoelektrik dari thermopile akan berhubungan dengan daya yang timbul dan suhu dari target. Pada gambar 2.6 terdapat ilustrasi cara kerja hukum Seebeck, serta pada persamaan 2.6 merupakan persamaan dari thermopile secara umum

$$V_{out} = N \bullet S \bullet (T_x - T_{ref}) \quad (2.5)$$

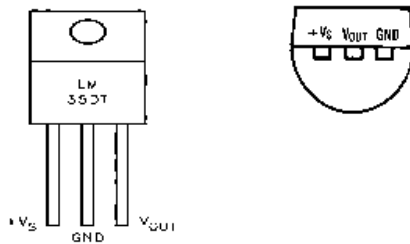
Tugas akhir ini menggunakan thermopile TS-118. Thermopile ini biasa digunakan untuk pengukuran suhu tanpa sentuh (contactless). Sensor ini memanfaatkan perpindahan panas yang dipancarkan suatu benda, setiap benda yang memiliki panas selalu memancarkan gelombang IR, gelombang inilah yang ditangkap oleh bahan passive IR di dalam Thermopile lalu diubah menjadi gejala tegangan listrik pada orde μV .



Gambar 2.7 Bentuk Thermopile TS-118



Gambar 2.8 Bentuk Output Thermopile vs Suhu



Gambar 2.9 Sensor Suhu LM35

Bahan di dalam thermopile terdiri dari beberapa thermocouples yang dirangkai seri maupun paralel. Thermopile tidak merespon suhu yang absolute, akan tetapi thermopile mendeteksi perbedaan temperature sekitar sebanding dengan output tegangan yang dikeluarkan. Sama seperti thermocouple, thermopile ini memanfaatkan Efek Seebeck, yang merubah sebuah perbedaan panas menjadi tegangan elektrik.

Pada TS-118 seperti pada gambar 2.6 terdapat thermistor dan thermopile, dan di dalamnya terdapat filter bandpass optik berbahan seperti kaca yang menyaring panjang gelombang antara 5-14 μm . Bentuk sinyal yang dikeluarkan oleh TS-118 seperti datasheet berada pada Gambar 2.7[8].

2.7. Sensor Suhu LM35

Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk merubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis

besarannya. Seri LM35 adalah IC sensor suhu yang presisi dimana tegangan keluarannya berbanding lurus dengan derajat suhu celcius (centigrade) sebesar kurang lebih $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ [9].

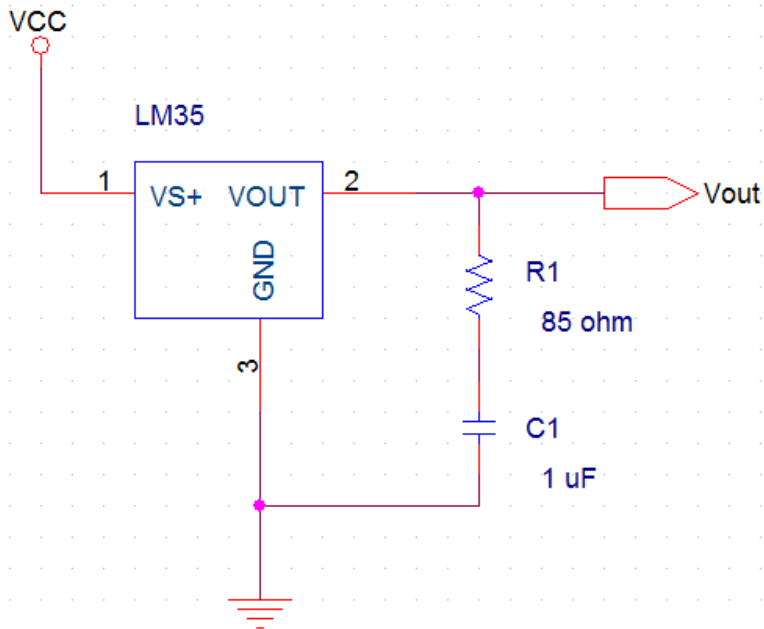
Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Sensor Suhu LM35 yang dipakai dalam penelitian ini berupa komponen elektronika elektronika yang diproduksi oleh *National Semiconductor*. LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan.

Meskipun tegangan sensor ini dapat mencapai 30 volt akan tetapi yang diberikan kesensor adalah sebesar 5 volt, sehingga dapat digunakan dengan catu daya tunggal dengan ketentuan bahwa LM35 hanya membutuhkan arus sebesar $60\text{ }\mu\text{A}$ hal ini berarti LM35 mempunyai kemampuan menghasilkan panas (*self-heating*) dari sensor yang dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang rendah yaitu kurang dari $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada suhu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gambar 2.8 menunjukkan bentuk dari LM35 tampak depan dan tampak bawah. 3 pin LM35 menunjukan fungsi masing-masing pin diantaranya, pin 1 berfungsi sebagai sumber tegangan kerja dari LM35, pin 2 atau tengah digunakan sebagai tegangan keluaran atau V_{out} dengan jangkauan kerja dari 0 Volt sampai dengan 1,5 Volt dengan tegangan operasi sensor LM35 yang dapat digunakan antar 4 Volt sampai 30 Volt. Keluaran sensor ini akan naik sebesar 10 mV setiap derajat *celcius* sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{LM35}} = \text{Suhu} \times 10\text{ mV} \quad (2.7)$$

Gambar 2.9 adalah gambar skematik rangkaian dasar sensor suhu LM35-DZ. Rangkaian ini sangat sederhana dan praktis. **Vout** adalah tegangan keluaran sensor yang terskala linear terhadap suhu terukur, yakni **10 milivolt per 1 derajat celcius**. Jadi jika **Vout = 530mV**, maka suhu terukur adalah **53 derajat Celcius**. Dan jika **Vout = 320mV**, maka suhu terukur adalah **32 derajat Celcius**. Tegangan keluaran ini bisa langsung diumpankan sebagai masukan ke rangkaian pengkondisi sinyal



Gambar 2.10 Bentuk Rangkaian LM35

seperti rangkaian penguat operasional dan rangkaian filter, atau rangkaian lain seperti rangkaian pembanding tegangan dan rangkaian Analog-to-Digital Converter. Rangkaian dasar tersebut **cukup** untuk sekedar bereksperimen atau untuk aplikasi yang tidak memerlukan akurasi pengukuran yang sempurna. Akan tetapi tidak untuk aplikasi yang sesungguhnya. Terbukti dari eksperimen yang telah saya lakukan, **tegangan keluaran sensor belumlah stabil**. Pada kondisi suhu yang relatif sama, jika tegangan suplai saya ubah-ubah (saya naikkan atau turunkan), maka **V_{out}** juga ikut berubah.

Memang secara logika hal ini sepertinya benar, tapi untuk instrumentasi hal ini tidaklah diperkenankan. Dibandingkan dengan tingkat kepresisian, maka tingkat akurasi alat ukur lebih utama karena alat ukur seyogyanya dapat dijadikan patokan bagi penggunaannya. Jika nilainya berubah-ubah untuk kondisi yang relatif tidak ada perubahan, maka alat ukur yang demikian ini tidak dapat digunakan.

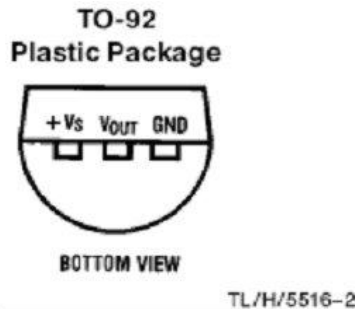
2.6.1 Karakteristik Sensor LM35

1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam *celcius*.
2. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5°C pada suhu 25 °C seperti terlihat pada gambar 2.2.
3. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 °C sampai +150 °C.
4. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
5. Memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60 μ A.
6. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) yaitu kurang dari 0,1 °C pada udara diam.
7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
8. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar $\pm \frac{1}{4}$ °C.

Sensor LM35 bekerja dengan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan. Tegangan ideal yang keluar dari LM35 mempunyai perbandingan 100°C setara dengan 1 volt. Sensor ini mempunyai pemanasan diri (*self heating*) kurang dari 0,1°C, dapat dioperasikan dengan menggunakan power supply tunggal dan dapat dihubungkan antar muka (*interface*) rangkaian control yang sangat mudah.

IC LM 35 sebagai sensor suhu yang teliti dan terkemas dalam bentuk Integrated Circuit (IC), dimana output tegangan keluaran sangat linear terhadap perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai penguubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar 10 mV /°C yang berarti bahwa kenaikan suhu 1° C maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 10 mV.

IC LM 35 ini tidak memerlukan pengkalibrasian atau penyetelan dari luar karena ketelitiannya sampai lebih kurang seperempat derajat celcius pada temperature ruang. Jangka sensor mulai dari – 55°C sampai dengan 150°C, IC LM35 penggunaannya sangat mudah, difungsikan sebagai kontrol dari indikator tampilan catu daya terbelah. IC LM 35 dapat dialiri arus 60 μ A dari supplay sehingga panas yang ditimbulkan sendiri sangat rendah kurang dari 0 ° C di dalam suhu ruangan.



Gambar 2.11 Bentuk LM35 dilihat dari atas

Untuk mendeteksi suhu digunakan sebuah sensor suhu LM35 yang dapat dikalibrasikan langsung dalam C (celcius), LM35 ini difungsikan sebagai basic temperature sensor.

Adapun keistimewaan dari IC LM 35 adalah :

- Kalibrasi dalam satuan derajat celcius.
- Linieritas $+10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
- Akurasi $0,5^{\circ}\text{C}$ pada suhu ruang.
- Range $+2^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$.
- Dioperasikan pada catu daya $4 \text{ V} - 30 \text{ V}$.
- Arus yang mengalir kurang dari $60 \mu\text{A}$.

2.6.2 Prinsip Kerja Sensor LM35

Secara prinsip sensor akan melakukan penginderaan pada saat perubahan suhu setiap suhu 1°C akan menunjukkan tegangan sebesar 10 mV . Pada penempatannya LM35 dapat ditempelkan dengan perekat atau dapat pula disemen pada permukaan akan tetapi suhunya akan sedikit berkurang sekitar $0,01^{\circ}\text{C}$ karena terserap pada suhu permukaan tersebut. Dengan cara seperti ini diharapkan selisih antara suhu udara dan suhu permukaan dapat dideteksi oleh sensor LM35 sama dengan suhu disekitarnya, jika suhu udara disekitarnya jauh lebih tinggi atau jauh lebih rendah dari suhu permukaan, maka LM35 berada pada suhu permukaan dan suhu udara disekitarnya .

Jarak yang jauh diperlukan penghubung yang tidak terpengaruh oleh interferensi dari luar, dengan demikian digunakan kabel selubung yang ditanahkan sehingga dapat bertindak sebagai suatu antenna penerima dan simpangan didalamnya, juga dapat bertindak sebagai

perata arus yang mengkoreksi pada kasus yang sedemikian, dengan menggunakan metode *bypass* kapasitor dari V_{in} untuk ditanahkan.

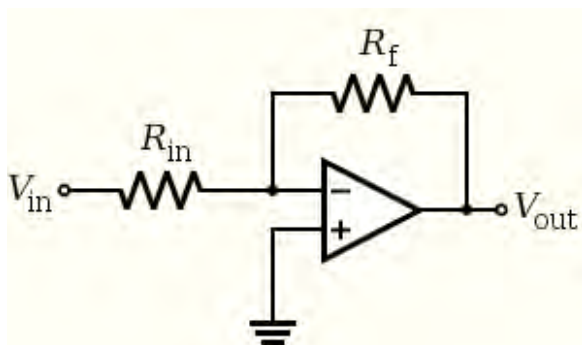
Maka dapat disimpulkan prinsip kerja sensor LM35 sebagai berikut:

- Suhu lingkungan di deteksi menggunakan bagian IC yang peka terhadap suhu
- Suhu lingkungan ini diubah menjadi tegangan listrik oleh rangkaian di dalam IC, dimana perubahan suhu berbanding lurus dengan perubahan tegangan output.
- Pada seri LM35

Sehingga dapat disimpulkan bahwa LM35 adalah komponen sensor suhu berukuran kecil seperti transistor (TO-92). Komponen yang sangat mudah digunakan ini mampu mengukur suhu hingga 100 derajat Celcius. Dengan tegangan keluaran yang terskala linear dengan suhu terukur, yakni **10 milivolt per 1 derajat Celcius**, maka komponen ini sangat cocok untuk digunakan sebagai teman eksperimen kita, atau bahkan untuk aplikasi-aplikasi seperti termometer ruang digital, mesin pasteurisasi, atau termometer badan digital.

2.8. Penguat Non-Inverting

Penguat Non-Inverting atau penguat tak membalik merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal output yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal input. Penguat ini dapat dibangun menggunakan penguat operasional, dapat digunakan untuk



Gambar 2.12 Rangkaian Penguat Non-Inverting

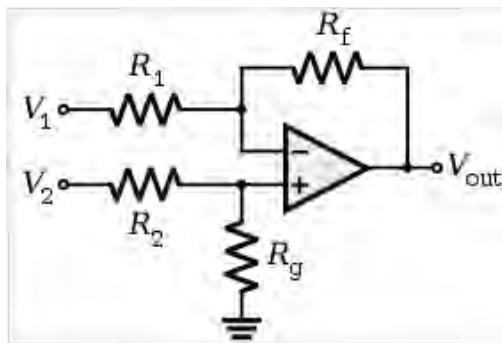
memperkuat isyarat AC maupun DC dengan keluaran yang tetap sefase dengan sinyal inputnya. Tegangan input V_{in} pada kaki masukan (+) opamp, umpan balik dibuat oleh tahanan R_f yang menghubungkan terminal keluaran dengan terminal masukan (-). Op-Amp dianggap ideal sehingga tegangan antara masukan (+) dan masukan (-) sama dengan nol. Karena masukan (+) dihubungkan dengan V_{in} maka terminal masukan (-) seolah-olah dihubungkan dengan V_{in} . Berikut ini rumus untuk mencari penguatan non-inverting dari rangkaian di atas

$$V_o = \left[\frac{R_f}{R_i} + 1 \right] V_{in} \quad (2.8)$$

Pada penelitian ini, fungsi dari penguat ini adalah untuk menaikkan level sinyal tegangan thermopile sehingga dapat di baca oleh ADC mikrokontroler. Penguatan dari non-inverting bermacam-macam, tergantung gain dari operational amplifier itu sendiri.

2.9. Penguat Differential

Rangkaian penguat selisih adalah rangkaian penguat yang terdiri dari penguat inverting dan penguat non-inverting yang tegangan keluarannya merupakan selisih dari tegangan masukannya. Karena tegangan masukannya terdapat dua, maka dengan metode superposisi didapatkan tegangan keluaran [10]. Berikut pada gambar 2.12 dari rangkaian differential amplifier.



Gambar 2.13 Rangkaian Penguat Differential

Berikut ini rumus dari rangkaian di atas :

$$V_{out} = V_2 \frac{(R_f + R_1)R_g}{(R_g + R_2)R_1} - V_1 \frac{R_f}{R_1} \quad (2.9)$$

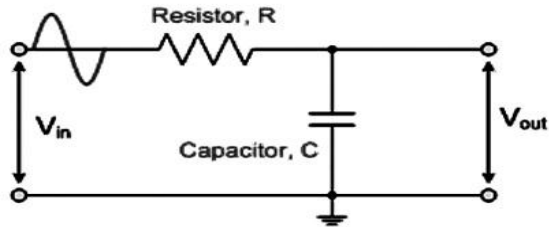
Penguat differential sering digunakan pada berbagai analisa sinyal kecil, seperti biomedik dan sensor. Penguat differential merupakan salah satu bagian dari instrumental amplifier. Kelebihan dari rangkaian ini adalah memiliki CMMR atau biasa disebut common mode rejection ratio, yang artinya ukuran penolakan dari input sinyal alat yang tidak diinginkan. Sebuah differential amplifier yang ideal memiliki CMMR yang tak terhingga. Pada saat yang ideal, sebuah differential amplifier mempunyai dua V_{in} , V_+ dan V_- , apabila R_2 dan R_1 sama, lalu R_3 dan R_4 sama, maka terdapat penguatan A_d , $V_o = A_d(V_+ - V_-)$. CMMR didefinisikan sebagai rasio dari power gain differential amplifier daripada common mode gain, CMMR diukur menggunakan desibel positive. Berikut ini rumus untuk memperoleh CMMR :

$$CMMR = \left(\frac{A_d}{|A_{cm}|} \right) = 10^{10} \log \left(\frac{A_d}{|A_{cm}|} \right)^2 \text{ dB} \quad (2.10)$$

CMMR merupakan spesifikasi yang sangat penting, sebagai patok seberapa besar common-mode sinyal akan keluar pada pengukuran alat. Sebagai contoh ketika menghitung resistansi sebuah thermocouple pada lingkungan yang penuh noise, noise tersebut akan muncul sebagai offset dari kedua masukan. CMMR inilah yang akan menentukan atenuasi noise atau offset tersebut.

2.10. Low Pass Filter

Rangkaian resistor kapasitor, atau RC filter, adalah rangkaian elektronik yang terdiri atas resistor dan kapasitor yang menggunakan daya dari suatu sumber tegangan atau sumber arus. Rangkaian filter RC orde pertama tersusun atas satu resistor dan satu kapasitor merupakan contoh sederhana dari rangkaian filter RC. Rangkaian filter RC merubah hubungan antara sinyal dengan frekuensi rendah maupun tinggi pada



Gambar 2.14 Rangkaian Low Pass Filter Pasif orde 1

bagian masukan maupun keluaran untuk melewatkan sinyal yang diinginkan [11].

Frekuensi cut-off (f_c) dari *low pass filter* dengan RC dapat dituliskan dalam persamaan matematik sebagai berikut :

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.11)$$

Rangkaian filter pasif LPF RC diatas terlihat seperti pembagi tegangan menggunakan R. Dimana pada filter LPF RC ini tegangan output diambil pada titik pertemuan RC. Tegangan output (V_{out}) filter pasif LPF seperti terlihat pada rangkaian diatas dapat diekspresikan dalam persamaan matematis sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} \cdot V_{in} \quad (2.12)$$

Besarnya penguatan tegangan (G) pada filter pasif yang ideal maksimum adalah $1 = 0\text{dB}$ yang hanya terjadi pada frekuensi sinyal input dibawah frekuensi cut-off (f_c). Penguataan tegangan (G) filter LPF RC pasif dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut :

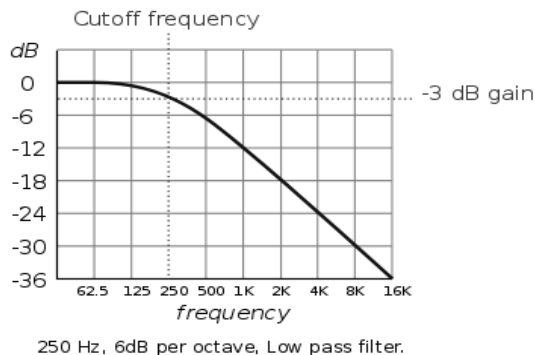
$$G = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \quad (2.13)$$

Dan penguatan tegangan (G) LPF RC dapat dituliskan dalam satuan dB sebagai berikut :

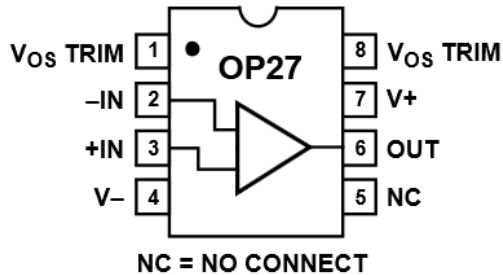
$$G = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} = 20 \log \frac{1}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \quad (2.14)$$

Pada filter lolos bawah (low pass filter ,LPF) terdapat beberapa karakteristik mendasar sebagai berikut :

- Pada saat frekuensi sinyal input lebih rendah dari frekuensi cut-off (f_c) ($f_{in} \ll f_c$) maka penguatan tegangan / Gain (G) = 1 atau $G=0\text{dB}$.
- Pada saat frekuensi sinyal input sama dengan frekuensi cut-off (f_c) ($f_{in} = f_c$) maka $\omega = 1/RC$ sehingga penguatan tegangan / Gain (G) menjadi -3 dB atau terjadi pelemahan tegangan sebesar 3 dB.
- Pada saat frekuensi sinyal input lebih tinggi dari frekuensi cut-off (f_c) ($f_{in} \gg f_c$) maka besarnya penguatan tegangan (G) = $1/\omega RC$ atau $G = -20 \log \omega RC$.
- Low Pass Filter, hanya meloloskan sinyal dengan *frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off (f_c) saja* [12].



Gambar 2.15 *Respon Frekuensi Low Pass Filter*



Gambar 2.16 Deskripsi PIN OP27

2.11. Instrumentasi Operasional Amplifier OP27

OP27 merupakan sebuah operational amplifier yang presisi serta memiliki offset yang rendah dan juga low noise. Input minimum offset dari Op-Amp ini adalah $25 \mu\text{V}$. Membuat OP27 sangat ideal untuk kepresisian aplikasi instrumen. Bentuk dari OP27 bisa dilihat pada gambar 2.15

OP27 memiliki PSSR dan CMMR mendekati 120dB. Selain itu harga OP27 ini juga tergolong murah dibandingkan seri AD620. Memiliki gain hingga 1 juta kali. Menggunakan input $\pm 3-18 \text{ V}$ [13].



Gambar 2.17 *STM32F4-Discovery dilihat dari atas*

2.12. Mikrokontroler STM32F4-Discovery

Mikrokontroler adalah sebuah sistem computer fungsional dalam suatu chip yang di dalamnya terdapat sebuah inti prosesor memori (sejumlah kecil RAM, memori dan program), dan perlengkapan input.dengan kata lain mikrokontroler dapat diartikan dengan suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara yang khusus yang jika dilihat bahwa fungsi dari mikrokontroler itu sendiri sebagai pembaca dan menulis data.

Mikrokontroler yang akan digunakan pada penelitian ini adalah STM32F4-Discovery, yaitu sebuah mikrokontroler yang sudah berbentuk modul, yang didalam satu rangkaian tersebut terdapat berbagai input serta sensor gyro. STM32F4 berarsitektur 32-bit ARM Cortex-M4F yang memiliki pengolahan data yang sangat cepat seperti handphone android zaman sekarang. Modul ini sudah dilengkapi dengan downloader STM nya, yaitu ST-Link/V2 untuk men-*debug*, mem-*flash* maupun meng-*erase*. Untuk memprogram mikro ini digunakan software Cocox dengan bahasa C yang sudah sering digunakan pada ATmega, perbedaan mencolok antara STM dan ATmega adalah pada kecepatan pengolahan dan penggunaan supply daya. Berikut ini data-data fitur mengenai STM32F4 :

- Memiliki fitur 32-bit ARM Cortex M4F prosesor, 1 MB Flash, 192 KB RAM di sebuah LQFP 100 paket
- On-Board ST-Link/v2 dengan mode seleksi yang bisa diubah
- Board *power supply*:melalu USB atau eksternal 5V
- Eksternal *power supply* : 3V dan 5V
- Dua push buttons
- Memiliki 3 ADC dengan 19 kanal, yang memiliki resolusi 12bits, Single mode, Independent Mode, dan juga 8 clock cycles diantara 2 pembacaan [18]

2.12.1 Deskripsi Pin

Pada STM32F4 ini terdapat 6 port, Port A, B, C, D, E dan H. Untuk Port A sampai E terdapat 15 pin, lalu untuk Port H hanya terdapat 2 pin. Port A0 juga berfungsi sebagai pushbutton Wake Up dari STM32, lalu terdapat juga pin NRST untuk pushbutton RESET. Pada mikrokontroler ini terdapat 2 clock osilator, satu clock untuk downloader dan satu lagi untuk osilator mikro itu sendiri. Kelebihan dari

mikrokontroler ini adalah bisa untuk memutar MP3 dengan on board audio capability DAC.

Deskripsi dari pin-pin pada STM32F4 pada **Gambar 2.16** dijelaskan sebagai berikut :

1. 5V : Pin ini bisa digunakan sebagai input power supply, ketika USB connector tidak tersambung dengan PC, Pin ini juga bisa digunakan sebagai power output 5 V dan konsumsi tenaganya tidak lebih dari 100mA.
2. GND : *Ground*.
3. Port A : Pada pin 0 – 7 terdapat ADC dengan maksimal resolusi 12 bit. Pin 1 – 3 terdapat dua TX dan RX untuk komunikasi serial. Total di Port ini terdapat 15 pin yang mempunyai kegunaan masing-masing,
4. Port B : untuk ADC hanya terdapat pada pin 0 dan 1. Sama dengan Port A yang memiliki 15 pin. Pin 6,7, 10, 11 merupakan RX dan TX dari USART 3.
5. Port C : untuk ADC hanya terdapat pada pin 0 – 5. Juga memiliki 15 pin, USART 6 RX dan TX nya berada pada pin 7 dan 6. USART 3 RX dan TX nya berada pada pin 11 dan 10. Untuk pin osilator in berada pada pin 14 dan out 15.
6. Port D : Pada port D ini tidak terdapat satu ADC pun. Tetapi terdapat USART2 TX dan RX pada pin 5 dan 6
7. Port E : Pada port ini tidak terdapat ADC satupun akan tetapi hampir semua pin bisa digunakan sebagai timer PWM.
8. Port H : Pada port ini terdapat pin 1 dan 0 sebagai osc out dan osc in.

2.12.2 ADC Internal

ADC internal hanya terdapat pada Port A, Port B dan Port C, terdapat 3 channel ADC1 , ADC2, dan ADC3. Tegangan referensi dari ADC STM32F4 adalah 3.3 Volt, bit maksimal dari ADC terletak pada 3 Volt, berkurang 0.3 V karena terdapat dioda diantara +Vref dengan Vdda. Jadi 1 LSB yang bisa dibaca adalah 0.7 mV apabila menggunakan resolusi 12 bit. Pada inisiasi STM ADC bisa diatur single mode atau independent mode.

$$1\text{ LSB} = V_{\text{ref}} / (2^{\text{bitADC}} - 1) \quad (2.14)$$

Tabel 2.1 ADC Pins STM32F4

Name	Signal type	Remarks
V_{REF+}	Input, analog reference positive	The higher/positive reference voltage for the ADC, $1.8\text{ V} \leq V_{REF+} \leq V_{DDA}$
V_{DDA}	Input, analog supply	Analog power supply equal to V_{DD} and $2.4\text{ V} \leq V_{DDA} \leq V_{DD}$ (3.6 V) for full speed $1.8\text{ V} \leq V_{DDA} \leq V_{DD}$ (3.6 V) for reduced speed
V_{REF-}	Input, analog reference negative	The lower/negative reference voltage for the ADC, $V_{REF-} = V_{SSA}$
V_{SSA}	Input, analog supply ground	Ground for analog power supply equal to V_{SS}
ADCx_IN[15:0]	Analog input signals	16 analog input channels

2.13. Komunikasi Serial

Terdapat dua cara komunikasi serial yaitu komunikasi data secara *asinkron* dan komunikasi data secara *sinkron*. Pada komunikasi data serial *sinkron*, *clock* dikirim bersama-sama dengan data serial, sedangkan pada komunikasi data serial *asinkron*, *clock* tidak dikirimkan bersama-sama data serial, tetapi dibangkitkan secara sendiri – sendiri baik pada sisi pengirim (*transmitter*) maupun pada sisi penerima (*receiver*). Pada IBM PC kompatibel port serialnya termasuk jenis *asinkron*. Komunikasi data serial ini dikerjakan oleh UART (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*). IC UART dibuat khusus untuk mengubah data paralel menjadi data serial dan menerima data serial yang kemudian diubah kembali menjadi data paralel.

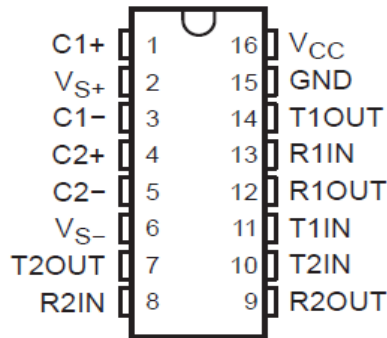
2.13.1 MAX 232

MAX 232 (gambar 2.17) merupakan salah satu komponen komunikasi serial selain RS 232 [14]. Dibawah ini adalah parameter-parameter yang dimiliki oleh MAX 232 :

- Memenuhi TIA/EIA-232-F dan Rekomendasi ITU V.28
- Beroperasi pada catu daya tunggal 5V dengan 1.0 μF kapasitor *charge-pump*
- Beroperasi hingga 120 kbit/s
- Dua driver dan dua receiver
- $\pm 30\text{V}$ level input
- Catu daya arus lemah, umumnya 8mA
- Proteksi ESD memenuhi JESD 22 – 2000V Human-Body Model (A114-A)

- Upgrade dengan peningkatan ESD (15 kV HBM) dan 0.1 μ F kapasitor charge-pump yang ada pada MAX202
- Aplikasi : TIA/EIA-232-F, sistem dengan catu daya baterai, terminal, modem, dan komputer.

MAX232 adalah driver / receiver ganda yang meliputi generator tegangan kapasitif untuk mencatu TIA/EIA-232-F level tegangan dari catu daya tunggal 5V. Setiap receiver mengkonversi input TIA/EIA-232-F untuk 5 V TTL / level CMOS. Receiver ini memiliki ambang khusus 1,3 V, histeresis 0,5 V, dan dapat menerima input ± 30 V. Setiap driver mengubah input level TTL / CMOS ke tingkat TIA/EIA-232-F (Tabel 2.1).



Gambar 2.18 Deskripsi Pin MAX 232

Tabel 2.2 Fungsi driver dan receiver pada MAX232

EACH DRIVER	
INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

EACH RECEIVER	
INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level



Gambar 2.19 USB ADAPTER

2.13.2 USB to Serial

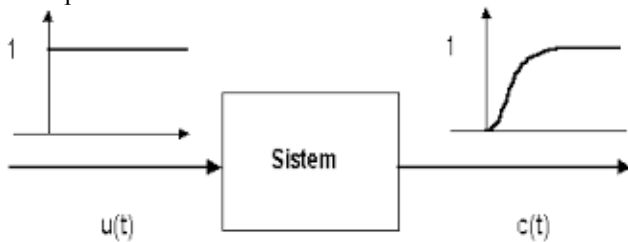
USB to serial merupakan modul yang berfungsi untuk mengubah komunikasi serial menjadi komunikasi USB. Dimana saat ini keberadaan PC atau Laptop biasanya hanya dilengkapi port USB untuk berkomunikasi dengan peralatan lain. Modul ini berfungsi sebagai *virtual serial port* . Hampir semua peralatan yang dikoneksikan menggunakan USB dengan kecepatan rendah menggunakan komunikasi serial. Gambar 2.18 merupakan USB adapter DB9 dimana didalamnya terdapat modul USB to serial yang sudah terintegrasi.

2.14. Kontrol Suhu

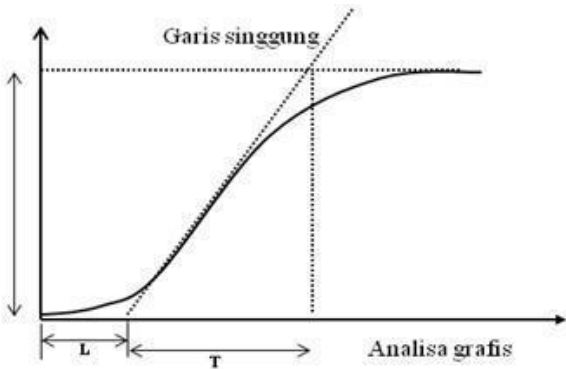
Kontrol Suhu ada bermacam-macam, salah satunya adalah kontrol Proportional Integral dan Derivative(PID). Kontrol PID adalah mekanisme kontrol dengan umpan balik berupa sensor suhu yang sering digunakan secara luas dalam sistem kontrol industri. Perhitungan pada kontroler PID terdiri dari tiga parameter antara lain *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*. Pada nilai *Proportional* berpengaruh terhadap reaksi *error* yang sedang berlangsung, *Integral* mempengaruhi reaksi atas penjumlahan *error* terbaru, sedangkan *Derivative* menentukan reaksi kecepatan perubahan *error*. Kontrol PID merupakan penjumlahan dari ketiga aksi ini yang digunakan untuk mengatur proses mengontrol suhu.

Salah satu metode yang sering digunakan untuk memudahkan tuning konstanta *Proportional*, *Integral* dan *Derivative* adalah metode Ziegler-Nichols yang diperkenalkan oleh John G. Ziegler dan Nathaniel B. Nichols. Pada metode ini yang dilakukan pertama dilakukan adalah memberikan input step pada sistem dengan kondisi *open-loop*. Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun *pole-pole*

kompleks, maka reaksi sistem akan berbentuk S, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.19



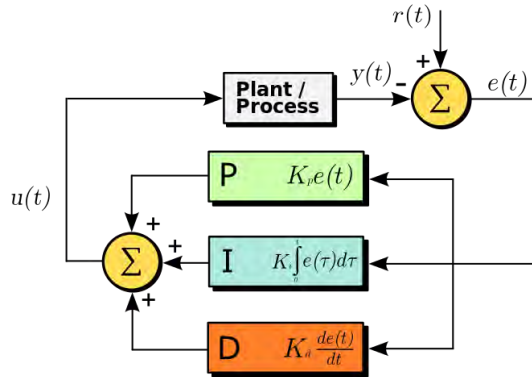
Gambar 2.20 Metode Tuning Ziegler-Nichols I



Gambar 2.21 Reaksi Sistem Open-Loop ketika diberi Input Step

Tabel 2.2 Tuning PID metode Ziegler-Nichols

Metode Tuning Ziegler-Nichols			
Tipe Kontrol	Kp	Ki	Kd
P	T/L	~	~
PI	0.9T/L	L/0.3	~
PID	1.2T/L	2L	0.5L



Gambar 2.22 Bentuk Diagram PID

Setelah mendapatkan kurva reaksi berbentuk S, maka langkah selanjutnya adalah mencari gradien terbesar pada titik-titik sepanjang kurva S tersebut yang kemudian disebut titik infleksi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Dari titik inleksi tersebut ditarik garis yang menyinggung banyak titik pada kurva S serta memotong sumbu X dan garis K, sehingga akan dihasilkan dua konstanta yaitu L dan T. Konstanta L dan T ini akan digunakan untuk tuning PID sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas perancangan sistem non-dispersif infrared (NDIR) serta rangkaian pendukung supaya terbentuknya sistem sensor yang baik. Bab ini menjelaskan sistem secara keseluruhan dan desain dari tiap-tiap blok yang ada

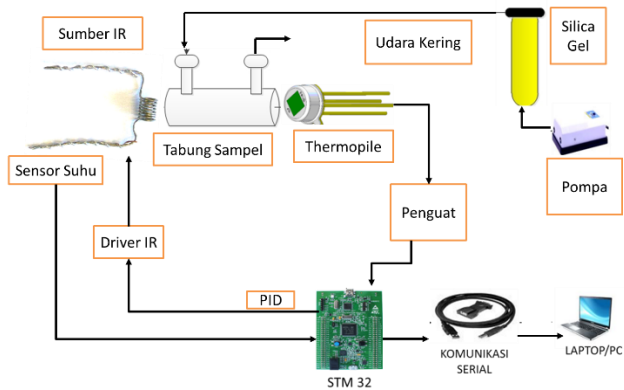
Pengukuran konsentrasi larutan alkohol yang dirancang pada tugas akhir ini menggunakan kawat nikrom yang berfungsi sebagai sumber inframerah, benda tersebut memancarkan inframerah melewati tabung larutan alkohol melewati tabung sampel, lalu pancaran inframerah diterima oleh sensor inframerah, yaitu thermopile untuk dimasukkan ke dalam sistem penguatan non inverting dan penguatan differential lalu keluarannya diubah menjadi data digital menggunakan mikrokontroler. Untuk membuat pancaran inframerah stabil digunakan sensor suhu LM35 untuk mengatur suhu dari panas tersebut. Hasil pengukuran tersebut dikeluarkan melalui LCD maupun layar Laptop/PC dengan USB to serial adapter BAFO. Hasil dari perubahan tegangan yang sudah dirubah menjadi data digital, akan dianalisis lebih lanjut dengan perangkat lunak untuk menghitung konsentrasi larutan alkohol terukur. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan dalam grafik pada Laptop.

3.1 Diagram Blok Sistem

Perencanaan dan pembuatan sistem sangat diperlukan untuk dapat merealisasikan Tugas Akhir ini. Agar proses perencanaan dan pembuatan bisa dilakukan dengan mudah maka terlebih dulu digambarkan melalui diagram blok pada Gambar 3.1

Cara kerja dari diagram blok sistem secara umum dijelaskan sebagai berikut.

1. Sumber IR dinyalakan dengan setpoint tertentu
2. Tabung sampel dimasuki udara bersih melalui silica gel dengan dorongan pompa udara dengan rentang waktu yang ditentukan
3. Sampel Gas Alkohol didorong oleh pompa udara masuk ke dalam tabung sampel dengan rentang waktu yang ditentukan
4. Sampel Alkohol akan berinteraksi dengan inframerah sehingga terjadi perbedaan pembacaan tegangan antara udara bersih dan alkohol oleh thermopile, selanjutnya data perbedaan tersebut dikirim serial ke komputer untuk diolah.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

- **Sistem Non-Dispersive Infrared (NDIR)**
Pada bagian ini terdapat tiga bagian utama, yaitu sumber infra merah, tabung sampel yang berisi konsentrasi alkohol dan sensor inframerah yaitu thermopile.
- **Sistem Power Supply**
Pada bagian ini, terdapat satu power supply switching, satu power supply battery dan 3 rangkaian jumper untuk menghubungkan dengan bagian-bagian yang lain.
- **Sistem Pengontrol Sumber Inframerah**
Pada bagian ini berfungsi untuk mengatur suhu dari sumber inframerah sehingga membuatnya tidak terlalu dingin dan juga tidak terlalu panas, pengontrol ini menggunakan metode PID yang terkenal baik dalam menjaga suhu. Sensor suhu yang digunakan adalah LM35.
- **Sistem Penguatan Sinyal**
Pada bagian ini berfungsi untuk menguatkan sinyal thermopile, perlu diketahui sinyal asli thermopile berada pada orde $50 \mu\text{V}$, sedangkan ADC yang akan digunakan hanya bisa mendeteksi 1 LSB-nya 3 mV, jadi diperlukan sebuah penguatan sinyal
- **Modul STM32F4-Discovery**
Modul ini digunakan sebagai penghubung antara blok PC/Laptop dengan sistem NDIR secara keseluruhan.

Karena pada modul ini akan dilakukan proses pengubahan data analog menjadi digital dengan ADC (*analog to digital converter*). USART pada modul ini akan digunakan untuk komunikasi serial dengan PC/Laptop.

Sedangkan perangkat lunak dari sistem secara umum ada dua yaitu:

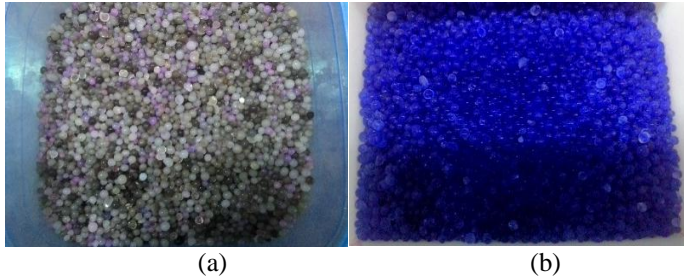
- Perangkat lunak pada STM32F4-Discovery
Pada STM32, perangkat lunak yang digunakan untuk mengatur inisiasi pin pada port-portnya adalah perangkat lunak Coocox. STM32 ini digunakan juga untuk melakukan proses ADC dan komunikasi serial
- Perangkat lunak pada PC/Laptop
Pada PC/Laptop, digunakan perangkat lunak Delphi untuk menerima pembacaan ADC dan komunikasi serial, serta melakukan penghitungan konsentrasi larutan alkohol.

3.2 Perancangan Perangkat Keras Aliran Udara

Perancangan sistem aliran udara terdiri dari perancangan tabung *silica gel*, perancangan pompa udara, perancangan wadah sampel gas serta perancangan mekanik saluran aliran udara yang diatur oleh kutub-kutub.

3.2.1 Perancangan Silica Gel

Silika gel merupakan butiran-butiran kecil seperti kaca yang berbentuk zat padat dan sangat berpori. Pori-pori yang terdapat pada satu butir silika berukuran 2.4 nanometer. Silika gel ini dibuat dengan cara sintesis yaitu penggumpalan sol Natrium Silikat (NaSiO_2). Silika gel ini digunakan sebagai zat penyerap, pengering dan penopang katalis.



Gambar 3.2 (a) Silika Gel kondisi jenuh; (b) Silika Gel kondisi baik



Gambar 3.3 Silika Gel yang digunakan

Silika gel yang digunakan dalam penelitian ini adalah silika gel berwarna biru. Silika gel dapat berubah warna menjadi merah muda apabila silika berada dalam keadaan jenuh. Pada gambar 3.4 a dan 3.4 b dapat dilihat keadaan silika dalam kondisi baik dan kondisi jenuh. Pada penelitian ini silika gel digunakan untuk menyerap kandungan uap alkohol maupun uap air pada wadah sampel maupun tabung sampel. Silika Gel yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.5

3.2.2 Perancangan Pompa Udara

Pompa udara berfungsi sebagai fasa gerak untuk mengalirkan udara ke tabung sampel NDIR. Pompa udara yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa udara akuarium dengan Power Supply 220V yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Lubang keluaran pompa yang diintegrasikan dengan silika gel memiliki kecepatan aliran sebesar 0.1

LPM dengan menggunakan katub. Integrasi pompa udara dapat dilihat pada Gambar 3.7.

3.2.3 Perancangan Wadah Sampel

Sampel Alkohol yang diuji berasal dari cairan sampel dengan volume 40 mL. Sampel diletakkan didalam botol dengan tinggi 6 cm dan diameter botol 3.6 cm Pada bagian tutup botol dibuat dua lubang untuk bagian keluar dan masuknya uap alkohol. Untuk gambar sampel alkohol dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.4 Pompa Udara



Gambar 3.5 Integrasi Pompa Udara



Gambar 3.6 Sampel Botol

3.3 Perancangan Perangkat Keras Sensor

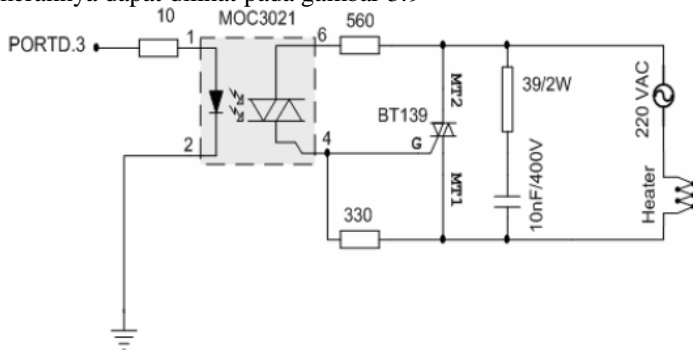
Perangkat keras dari sistem terdiri atas rangkaian-rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menyusun sistem Non-Dispersive Infrared (NDIR). Sistem NDIR ini ditunjang oleh berbagai rangkaian yang lain seperti, rangkaian pengontrol sumber IR, rangkaian penguat thermopile dan modul STM32F4.

3.4.1 Sistem Non-Dispersif Infrared (NDIR)

Pada blok ini terdiri dari tiga bagian utama, bagian sumber inframerah beserta kontrolernya yang terdapat sebuah sensor LM35, bagian sample tabung dan penyangganya serta bagian penerima inframerah yaitu thermopile dengan rangkaian penguat non-inverting dan penguat differential.

3.4.1.1 Rangkaian Driver Sumber Inframerah

Setelah melalui beberapa kali percobaan, akhirnya didapatkan rangkaian untuk mengatur panas dari sumber inframerah. Pada awalnya digunakan kontroler relay dengan histerisis untuk menghasilkan suhu yang stabil, setelah dicoba berulang kali diperlukan sebuah rangkaian yang baru untuk menghasilkan suhu yang stabil. Rangkaian ini menggunakan Optocoupler MOC3021 dan Triac BT138. Penggunaan MOC3021 sebagai optoisolator untuk menghubungkan rangkaian pengendali dengan rangkaian daya serta dapat digunakan untuk pengamanan rangkaian lain yang tidak terkait Rangkaian driver sumber inframerahnya dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.7 Rangkaian Driver Kawat Nikrom dengan tegangan AC

Kekurangan dari rangkaian ini adalah harus menggunakan power supply bertegangan AC. Kelebihannya adalah rangkaian ini tidak menimbulkan suara, seperti suara pada relay. Lalu rangkaian ini bisa dikontrol dengan metode kontroler apapun, pada tugas akhir ini digunakan kontrol PID (Proporsional Integral Derrivative). Kontroler PID terdiri dari kontrol P yaitu kontrol Proporsional, fungsi dari kontrol P adalah untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. Berikut ini rumus untuk mencari error dari kontrol proporsional, :

$$E_p = (\text{Setpoint} - \text{Suhu Sekarang}) \quad (3.1)$$

$$P = K_p \times E_p \quad (3.2)$$

Lalu yang kedua adalah kontrol integral, yang berfungsi untuk memperbaiki sekaligus menghilangkan respon steady-state, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. K_i yang terlalu tinggi dapat menyebabkan output berosilasi. Berikut ini rumus untuk mencari error dari kontrol Integral :

$$E_i = E_i + (E_p * dt) \quad (3.3)$$

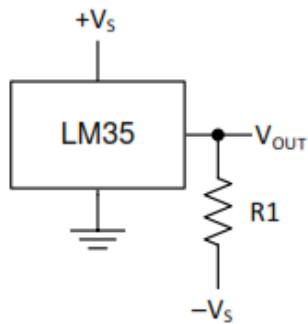
$$I = K_i \times E_i \quad (3.4)$$

Dt merupakan delta time dalam program bisa disamakan dengan selisih waktu pengambilan data suhu tersebut. Kemudian kontrol yang terakhir adalah kontrol D atau derrivative. Kontrol ini berfungsi untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi error yang akan terjadi. Kontrol ini akan berubah ketika ada perubahan error sehingga saat error statis kontrol ini akan mati. Berikut ini rumus untuk mencari error dari kontrol Derrivative.

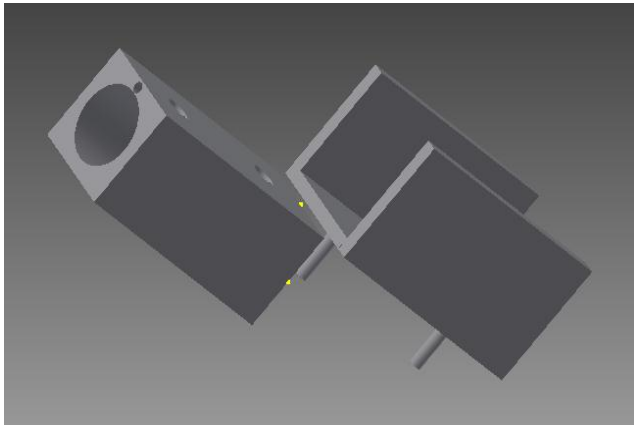
$$E_d = (E_p - E_{p-1})/dt \quad (3.5)$$

$$D = K_d \times E_d \quad (3.6)$$

Setelah P, I, D semua sudah terkumpul, maka untuk mengontrol sumber IR dari NDIR adalah nilai P, I, D itu dijumlah sehingga menghasilkan *dutycycle* PWM pada STM32F4. Tidak lupa diberi batas atas dan batas bawah dari PWM supaya nilai kontrol tidak *me-looping*.



Gambar 3.8 Rangkaian Sensor Suhu



Gambar 3.9 Tabung Sampel

3.4.1.2 Rangkaian Sensor Suhu

Untuk mendeteksi seberapa panas sumber NDIR ini dibutuhkan sebuah sensor suhu. Sensor suhu yang akan digunakan adalah LM35, yang memiliki sensitivitas baik dan berharga murah. Rangkaian sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.10

3.4.1.3 Tabung Sample

Tabung sampel yang digunakan terbuat dari bahan aluminium berbentuk balok dan berukuran 15 mm x 15 mm x 30 mm, dapat dilihat pada Gambar 3.11. Tabung di atas terdapat dua saluran untuk udara keluar, dan bagian kanan kiri ditutup dengan plastik mika supaya larutan alkohol tidak keluar.

3.4.1.4 Rangkaian Penguat Thermopile

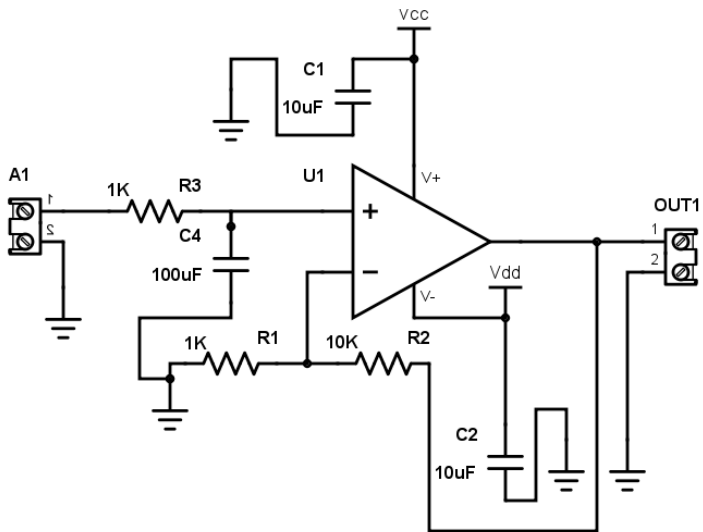
Rangkaian Penguat Thermopile ini terdiri dari orde satu low pass amplifier dan dua penguat sederhana, yaitu penguat non-inverting dengan penguatan 10 kali dan penguat differential dengan penguatan 100 kali, sehingga sinyal keluaran thermopile berada 0 – 500 mV. Berikut ini rangkaian low pass amplifier yang ada dalam penelitian ini :

Rangkaian pada Gambar 3.12 merupakan Low Pass Filter pasif orde satu dengan nilai *frequency cut off* tetap dengan rumus di bawah ini akan didapatkan nilai *cutoff* nya.

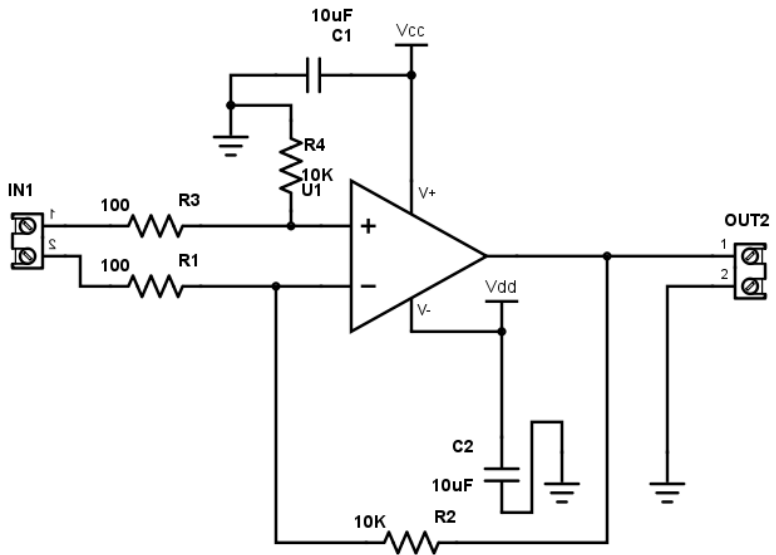
$$Fc = \frac{1}{2\pi R.C} \quad (3.7)$$

Didapatkan frekuensi *cutoff* nya 15.915 Hz, fungsi dari rangkaian low pass filter hanya untuk menyaring bentuk sinyal thermopile yang ripplanya berfrekuensi tinggi. Rangkaian berikutnya untuk menunjang sinyal thermopile ini adalah rangkaian penguat non-inverting. Rangkaian penguat non-inverting ini menggunakan opamp OP27. Berikut ini rangkaian non-inverting nya :

Keluaran dari penguat non-inverting ini memiliki tegangan antara 0-10 mV, yang mana hanya bisa dibaca sedikit bit ADC, maka dibutuhkan sebuah penguat lagi, akan tetapi penguat ini harus bisa membedakan tegangan thermopile yang sebenarnya. hanya differential amplifierlah yang secara teori bisa menyaring sinyal thermopile tersebut. Dan setelah dicoba, ternyata memang bisa , perbedaan yang terjadi tergantung dari R3 dan R4 resistor penguat differential. Apabila R3/R1 adalah 100 maka apabila keluaran non-inverting 5 mV maka akan dikuatkan 100 kali dan membuat amplitudo tegangan menjadi 500 mV.



Gambar 3.10 Non-Inverting Amplifier 11x



Gambar 3.11 Penguat Tambahan dengan gain 100x



Gambar 3.12 Power Supply

Pada Gambar 3.13 merupakan skematik bentuk rangkaian Penguat tambahan dengan *gain* 100x yang digunakan dalam penelitian ini. Pada gambar 3.13 karena $R_4 = R_2$ dan $R_3 = R_1$ maka dapat disamakan dengan penguatan non-inverting dengan $R_f = R_2$ dan $R_i = R_1$.

Perhitungan untuk Gambar 3.12 dapat dilihat pada persamaan 3.8, sedangkan untuk Gambar 3.13 dapat dilihat pada persamaan 3.9.

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \times V_{in}$$

$$V_{out} = \left(\frac{10K}{1K} + 1 \right) \times V_{in} \quad (3.8)$$

$$V_{out} = 11 \times V_{in}$$

$$V_{out} = V_2 \frac{(R_3 + R_1)R_4}{(R_4 + R_2)R_1} - V_1 \frac{R_3}{R_1}$$

$$V_{out} = V_2 \frac{(10K + 100)10K}{(10K + 100)100} - V_1 \frac{10K}{100} \quad (3.9)$$

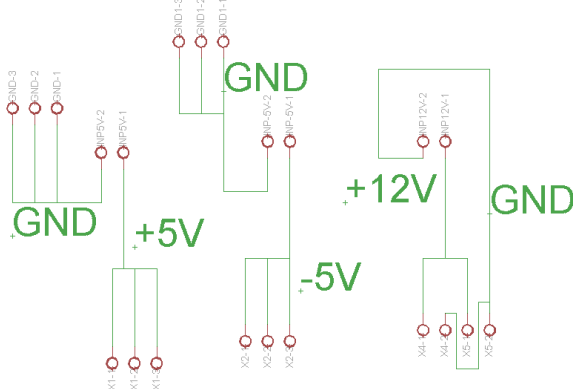
$$V_{out} = V_2(100) - V_1(100)$$

$$V_{out} = 100(V_2 - V_1)$$

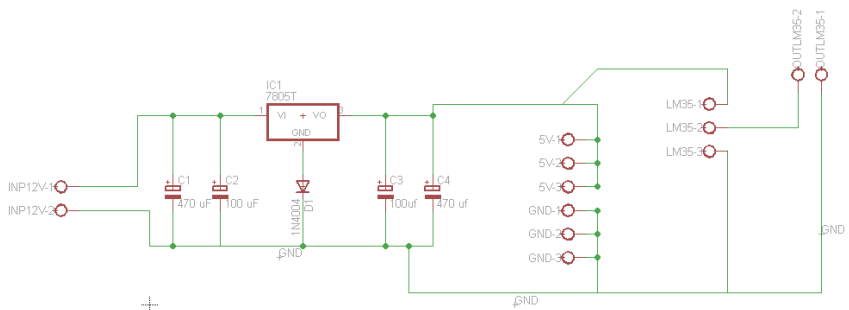
3.4.2 Sistem Power Supply

Sistem *Power Supply* merupakan sebuah blok dimana blok ini yang mensupply catu daya dari masing-masing bagian pada semua sistem NDIR ini. Terdapat satu catu daya switching power supply, memiliki keluaran +5V 15 Ampere, -5V 1 Ampere dan +12 Volt 2.5 Ampere. Terdapat pula rangkaian *jumper* untuk memparalel masing-masing tegangan menjadi cabang-cabang sehingga dapat digunakan untuk memenuhi catu daya masing-masing sistem. Pada Gambar 3.14 merupakan ilustrasi *power supply*-nya,

Untuk menunjang fungsi dari power supply dibutuhkan rangkaian-rangkaian kecil untuk memparalel tegangan-tegangan tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 3.15



Gambar 3.13 Terminal Paralel



Gambar 3.14 Penstabil Tegangan 7805

3.4.3 Modul STM32F4

Pada sistem non-dispersive infrared (NDIR) ini, digunakan mikrokontroler berarsitektur ARM yaitu STM32F4, karena memiliki clock prosesor yang tinggi dan juga menggunakan tenaga yang rendah. Untuk mensupply modul ini, digunakan penstabil tegangan 7805, rangkaian penstabil tegangannya dapat dilihat pada Gambar 3.16.

Masukan dari rangkaian di atas menggunakan tegangan +12V *power supply*. Pada modul mikrokontroler ini terdapat LCD sebagai penampil informasi, lalu terdapat komunikasi serial RS-232 sebagai penghubung dengan PC/Laptop. Bentuk rangkaian modul STM32F4 yang sudah jadi terlihat pada Gambar 3.17.

Untuk *men-drive* dari USART 2 dari STM32F4 dibutuhkan sebuah IC yang merubah dari level tegangan TTL menjadi tegangan RS-232 yaitu chip MAX232. ADC pada modul ini akan digunakan ADC tiga kanal, satu untuk ADC sensor suhu, satu untuk ADC sensor thermopile referensi dan satu lagi untuk ADC sensor thermopile pembacaan konsentrasi larutan alkohol.



Gambar 3.15 Modul STM32F4

3.4 Perancangan *Software* & Pembacaan Sensor

Pada bagian perancangan lunak ini meliputi algoritma pemrograman yang digunakan dalam sistem non-dispersif inframerah (NDIR) ini dalam hal pengambilan data, pengolahan data dan interpretasi data. Diagram sistem perangkat lunak NDIR secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.12.

3.4.1 Pembacaan Nilai Thermopile

Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah Thermopile TS-118. Sensor ini digunakan untuk memonitoring perubahan inframerah oleh sumber IR yang terbuat dari kawat nikrom. Sensor thermopile memiliki keluaran tegangan yang berbanding lurus dengan suhu yang dideteksi pada sudut 120 ° di depan thermopile. Bentuk thermopile yang saya gunakan dapat dilihat pada gambar 3.18. Thermopile ini memiliki empat kaki pin, pin 1 digunakan untuk kaki thermopile +, pin 2 digunakan untuk Ni-RTD, kaki 3 digunakan untuk thermopile – dan kaki 4 digunakan untuk GND. Yang digunakan dalam penelitian ini hanya kaki 1 dan kaki 3 yaitu thermopile + dan thermopile –

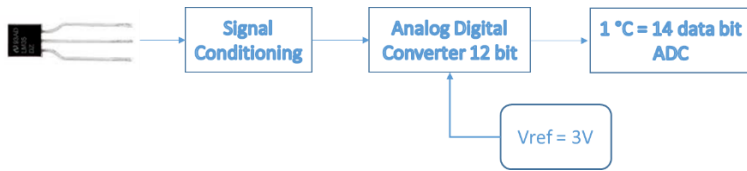
Untuk pembacaan sensor thermopile dan sensor suhu LM35 digunakan filter digital MAV. Program MAV digunakan untuk menghasilkan keluaran yang stabil serta memperhalus data keluaran kedua sensor tersebut. Persamaan untuk menghasilkan filter MAV dapat dilihat pada persamaan 3.10

$$Filter_MAV[n] = \frac{x[n]+x[n-1]+x[n-2]+\dots+x[n-9]}{10} \quad (3.10)$$

Untuk pembacaan sensor thermopile digunakan ADC STM32F4 dengan resolusi 12 bit.

3.4.2 Akuisisi Data LM35

Untuk mengambil data tegangan dari LM35 dibutuhkan suatu teknik akuisisi data yang tepat supaya tegangan LM35 yang terbaca tidak menghasilkan *noise*. LM35 memiliki resolusi 10 mV/°C, sedangkan ADC STM32F4 yang digunakan 12 bit. Pada gambar 3.16 dapat dilihat diagram blok dari akuisisi data mikrokontroler. Karena ADC memiliki tegangan referensi sebesar 3V, maka 1 LSB nya bernilai

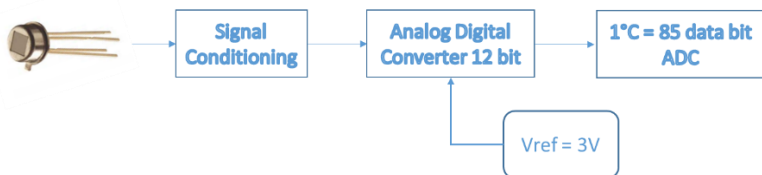


Gambar 3.16 Diagram Blok Akuisisi Data LM35

0.7 mV. Jadi 1 bit yang dibaca ADC merupakan 0.7 mV tegangan sesungguhnya. Pada variabel suhu, 0.7 mV sama dengan 0.07 °C oleh karena itu bentuk sinyal yang dibaca oleh mikrokontroler ber-*ripple*, maka dari itu digunakan filter MAV untuk membuat *smooth* bentuk sinyal keluaran LM35. Keluaran LM35 yang akan dibaca oleh ADC adalah ± 14 data bit, sekitar 10 mV bisa menjadi error pembacaan.

3.4.3 Akuisisi Data Thermopile

Pada datasheet thermopile, sensor ini baru mengeluarkan tegangan 0 pada suhu yang lebih besar daripada 25°C, dan mencapai 4.4 mV pada suhu 100 °C. Tentunya hal ini terjadi sebelum melalui *signal conditioning* atau penguatan. Dari data di atas didapatkan bahwa 1°C mengalami perubahan tegangan 60 μ V. Oleh karena itu dibutuhkan penguatan agar ADC dapat mendeteksi perubahan tegangan thermopile lebih baik. Dengan penguatan 1000 kali, keluaran thermopile setiap 1°C adalah 60 mV yang berarti dengan ADC beresolusi 12 bit, keluarannya adalah 85 data bit.



Gambar 3.17 Diagram Blok Akuisisi Data Thermopile

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dari pengujian sistem yang telah dirancang seperti yang telah dijelaskan pada BAB III disertai dengan analisa data. Pengujian sistem akan melibatkan baik komponen hardware dan software. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian Komunikasi Serial
2. Pengujian *Analog to Digital Converter*
3. Pengujian *Pulse Width Modulation* STM32F4
4. Pengujian Kontrol Sumber Inframerah
5. Pengujian Non-Inverting Amplifier
6. Pengujian Sensor Thermopile
 - 6.1. Pengujian Keluaran Sensor Thermopile Pada Suhu Ruangan
 - 6.2. Pengujian Keluaran Sensor Thermopile Pada Suhu 40°C
 - 6.3. Pengujian Keluaran Sensor Thermopile Pada Suhu 50°C
 - 6.4. Pengujian Keluaran Sensor Thermopile Pada Suhu 60°C
 - 6.5. Pengujian Keluaran Sensor Thermopile Pada Suhu 70°C
7. Pengujian Sistem *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) pada suhu ruangan
 - 7.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 0 %
 - 7.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %
 - 7.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %
8. Pengujian Sistem *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) pada suhu 40°C
 - 8.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 0 %
 - 8.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %
 - 8.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %
9. Pengujian Sistem *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) pada suhu 50°C
 - 9.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 0 %
 - 9.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %
 - 9.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %
10. Pengujian Sistem *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) pada suhu 60°C
 - 10.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 0 %
 - 10.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %
 - 10.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %
11. Pengujian Sistem *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) pada suhu 70°C
 - 11.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 0 %
 - 11.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %

4.1 Realisasi Hardware

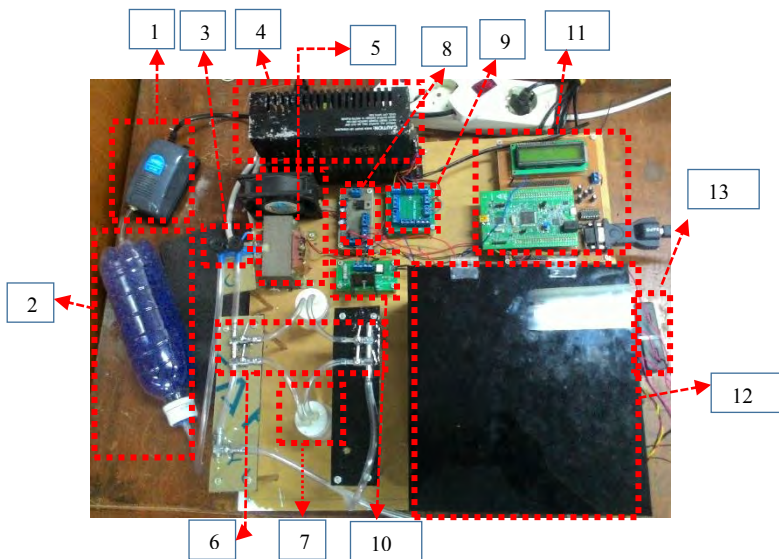
Dari rencana perancangan pada bab 3, berikut realisasi hardware yang digunakan dalam penelitian ini.

4.1.1 Diagram Sistem

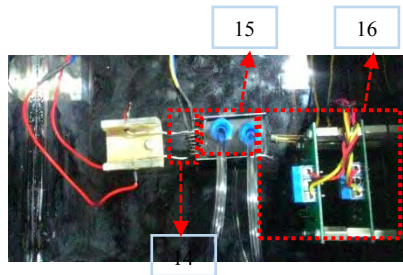
Perancangan mekanik ini dilakukan dengan cara menggabungkan semua *hardware* yang digunakan oleh sistem non-dispersive infrared ini. *Hardware* terdiri dari mekanik utama NDIR dan mekanik pendukung supaya data tegangan dapat ditampilkan dengan baik. Keseluruhan mekanik yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2

Keterangan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2

1. Pompa Udara
2. *Silica Gel*
3. Keran untuk mengatur tekanan aliran udara menjadi 0.1 LPM
4. *Power Supply Switching* +12, -5V dan +5V
5. Trafo 3A untuk mensupply tegangan dari sumber inframerah beserta kipas untung mendinginkan suhu trafo
6. Keran untuk memilih sampel gas



Gambar 4.1 Mekanik Utama NDIR



Gambar 4.2 Blok Sensor NDIR

7. Wadah Sampel Alkohol
8. Penstabil Tegangan +5V dan konektor sensor suhu LM35
9. *Power Station*, untuk memparalel tegangan dari *Power Supply Switching*.
10. Driver Sumber Inframerah
11. Modul STM32F4 + LCD dan juga serial komunikasi BAFO
12. Blok NDIR pada gambar 3.3
13. Battery untuk penguatan thermopile
14. Sumber Inframerah (Kawat Nikelin)
15. Tabung Sampel dengan inlet dan outlet untuk keluar masuk gas
16. Penguat Thermopile dan Thermopile Sensor

4.1.2 Tabung Sampel

Pada gambar 4.3 merupakan tabung yang digunakan dalam penelitian ini, yang berbahan dari aluminium berukuran 15 mm X 15 mm X 30 mm. Terdapat dua keluaran udara dari tabung untuk masuk dan keluar udara bersih maupun udara sampel. Dibutuhkan waktu 2 menit untuk membersihkan tabung dari udara sampel.



Gambar 4.3 Tabung Sampel dengan penyangga

4.2 Komunikasi Serial

Komunikasi serial merupakan salah satu hal terpenting dalam analisa data Non-Dispersif Infrared ini. Pada pengujian komunikasi serial, beberapa data dikirimkan bergantian dengan satu *start bit* dan satu *stop bit*. Hasil pembacaan komunikasi serial dapat dilihat pada tabel 4.1, dicoba dengan software Delphi yang telah dibuat sebelumnya pada Laptop.

Komunikasi ini menggunakan fitur *data parsing* pada delphi dengan *start bit* berupa karakter '\$' dan *stop bit* berupa karakter '#'. Pengiriman data dilakukan oleh Modul STM32F4 pada USART 2 dan penerimaan data dilakukan oleh PC/Laptop menggunakan software delphi dengan bantuan *library* COMPORT. Dari hasil pengujian di atas, bisa diketahui bahwa komunikasi serial yang digunakan tidak mengalami error dan komunikasi berhasil 100%.

4.3 Analog to Digital Converter

Analog to Digital Converter juga memiliki peranan penting dalam sistem Non-Dispersif Infrared ini. Hasil pembacaan sensor suhu dan hasil pembacaan sensor thermopile akan dimasukkan ke dalam ADC dual channel pada STM32F4-Discovery untuk diterjemahkan ke dalam bilangan biner. ADC yang digunakan adalah ADC dengan resolusi 10 bit.

Tabel 4.1 Pengujian Komunikasi Serial

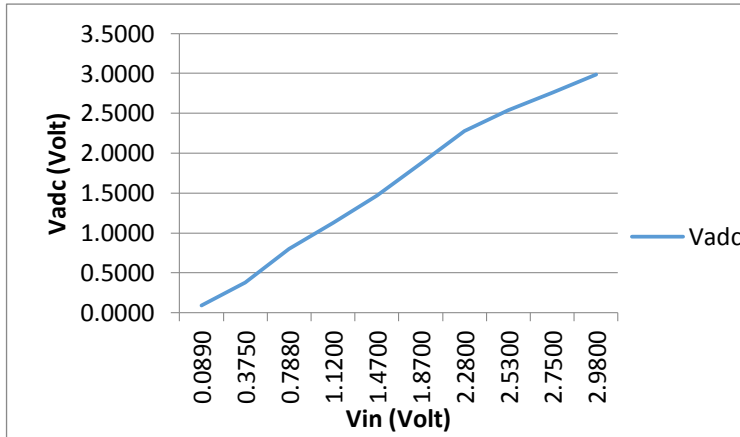
Data Dikirim	Data Diterima
123	123
224	224
390	390
500	500
625	625

Tabel 4.2 Pengujian ADC STM32F4

Vin (V)	Vadc (V)
0,089	0,092
0,375	0,378
0,788	0,800
1,12	1.126
1,47	1.466
1,87	1,869
2,28	2,278
2,53	2,536
2,75	2,761
2,98	2,988

Dengan Tegangan Maksimal yang dapat terbaca adalah 3 Volt. Dari keterangan tersebut dapat disimpulkan 1 LSB (*Least Significant Bit*) adalah $3000 / 2^{10}$ yaitu 2.929 mV. Untuk menguji apakah ADC sudah benar akan digunakan AVometer dengan merk YOKOGAWA seri TIE2047, Berikut ini tabel pengujian ADC STM32F4.

Dari tabel 4.2, Vin merupakan keluaran AVO dan Vadc merupakan tegangan yang dibaca ADC pada STM32F4. Data hasil



Gambar 4.4 Grafik Vin VS Vadc

pembacaan AVO meter tidak sama persis dengan Vadc. Error yang terjadi masih dibawah 10 %, hal ini masih dapat dimaklumi.

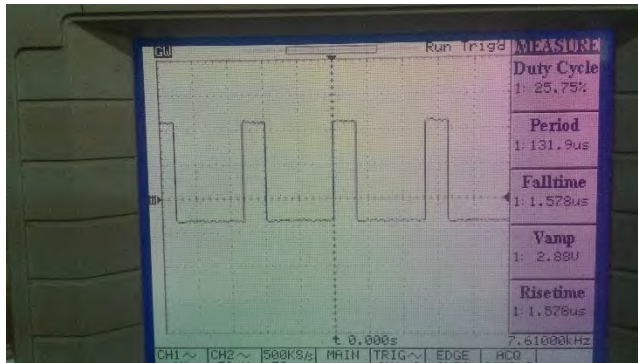
Pada gambar 4.1, terlihat dengan jelas bahwa perbedaan pembacaan tegangan menggunakan ADC dan menggunakan AVOMeter tidak terlalu besar dan garis bersifat linier. Garis yang bersifat linier ini membuktikan bahwa pembacaan ADC oleh mikrokontroler sudah sesuai dengan pembacaan AVOMeter.

4.4 Pengujian PWM STM32F4

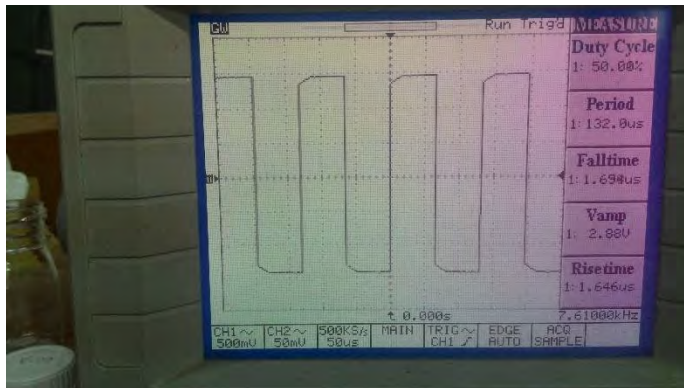
Sebelum menggunakan kontrol sumber inframerah, perlu diuji terlebih dahulu *trigger* nya yaitu *Pulse Width Modulation* (PWM). Pada STM32F4, *period* di atur pada 2099 dengan *prescaler* 0. Dengan pengaturan seperti itu menghasilkan frekuensi PWM 7.581 KHz yang mana tegangan maksimalnya 3 Volt dan tegangan minimunya 0 Volt. Pengaturan *dutycycle* pada STM terletak pada *Configuration and Control Register* (CCR) nya, untuk mencari nilai dari CCR maka digunakan perhitungan seperti pada persamaan 4.1

$$CCR = dutycycle \times period \quad (4.1)$$

Pada gambar 4.2 – 4.4 dapat dilihat hasil pengujian PWM dengan CCR tertentu.

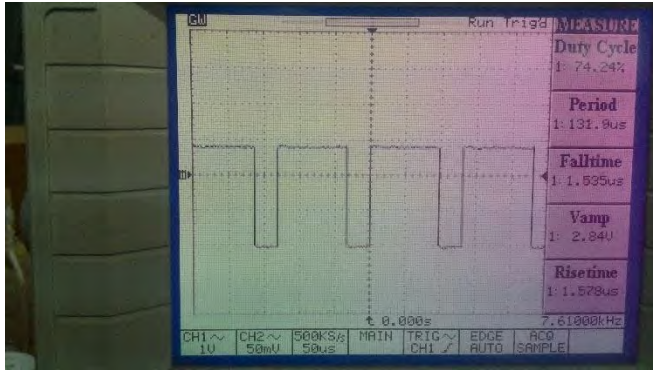


Gambar 4.5 Osiloskop ketika CCR 575



Gambar 4.6 Osiloskop ketika CCR 1050

CCR 575 apabila dihitung dengan rumus 4.1, didapati memiliki dutycycle 27 %, akan tetapi pada osiloskop dibaca 25.75%. Selanjutnya pengujian pada CCR 1050, seperti gambar 4.3. Terlihat pada hasil osiloskop bahwa *dutycycle*-nya 50.00. Pengujian di atas sesuai dengan rumus 4.1 yang menurut perhitungan pada CCR 1050 memiliki *dutycycle* 50%. Pengujian selanjutnya adalah dengan CCR 1575, sebagai berikut



Gambar 4.7 Osiloskop ketika CCR 1575

Tabel 4.3. Pengujian PWM STM32F4

CCR	Dutycycle (%)	Error (%)
575	25.75%	3%
1050	50 %	0%
1575	74.24%	1%

Terjadi sedikit error pada hasil osiloskop di atas, seharusnya menurut perhitungan keluaran *dutycycle* pada osiloskop adalah 75%. Untuk mengetahui berapa error yang terjadi pada masing-masing pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3

4.5 Pengujian Kontrol Sumber Inframerah

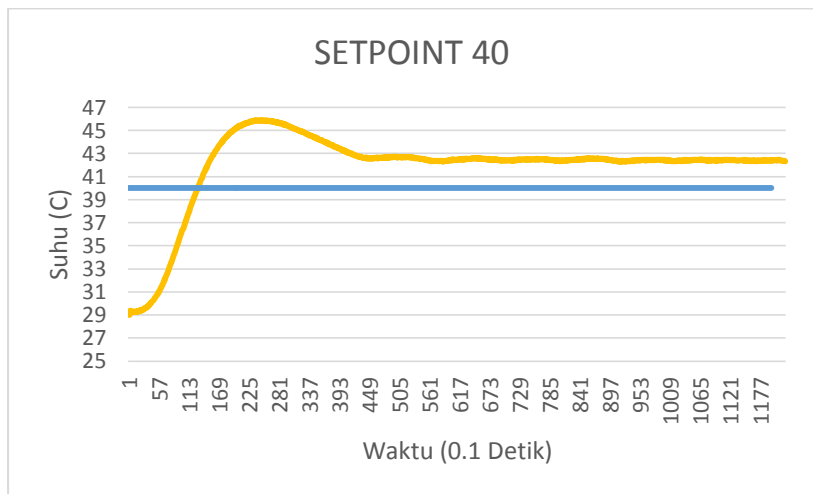
Sumber inframerah yang terbuat dari kawat nikrom ini memiliki diameter 0.9 mm, atau dalam satuan international 19 Gauge. Untuk menunjang kebutuhan arus yang dibutuhkan supaya kawat ini panas, digunakan *trafo stepdown* dengan arus maksimal 3 ampere. Prinsip kerja dari kawat ini, semakin tinggi arus yang mengalir, maka semakin besar suhu yang akan dihasilkan oleh kawat tersebut. Dengan 3 ampere kawat ini dapat menghasilkan panas hingga 150 derajat apabila tidak dikontrol. Tegangan yang digunakan adalah 12 Volt. Untuk mengontrol kawat tersebut digunakan konstanta $K_p = 80$, $K_i = 0.05$, $K_d = 0.1$. Sensor suhu yang digunakan untuk melakukan umpan balik dari sistem kontrol

sumber inframerah adalah LM35. Berdasarkan hasil pengukuran suhu dengan LM35 dengan termometer digital Krisbow didapatkan suhu yang terukur dengan LM35 adalah 27.73°C sedangkan dengan termometer digital adalah 28.3 °C. Selisih pembacaan antara LM35 dan termometer digital adalah 0.57 °C. Hasil Pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.5

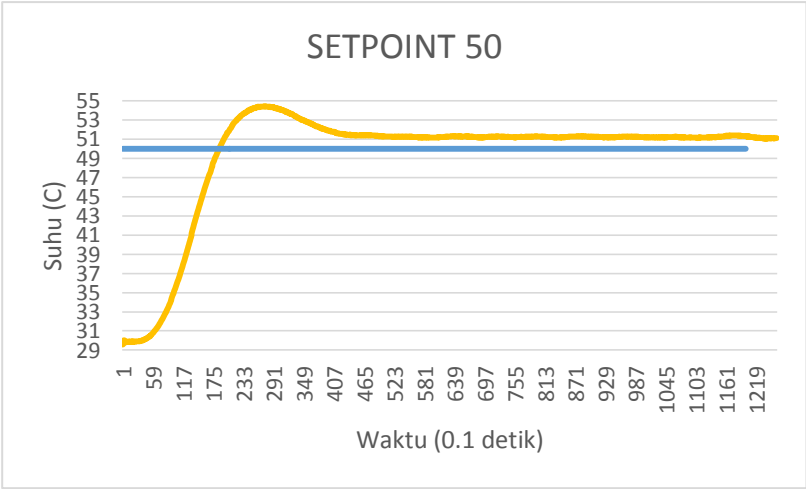
Pengujian kontrol dilakukan dengan cara memberi *setpoint* suhu 40°C, 50°C, 60°C, 70°C. Hasil pengujian terhadap kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.6. Dimana hasil dari suhu yang dikontrol berjalan dengan error rata-rata $\pm 2^\circ\text{C}$. *Overshoot* yang paling tinggi ketika *setpoint* yang diinginkan pada suhu 40 °C. Semua *setpoint* memiliki *overshoot* masing-masing. Keseluruhan efek yang disebabkan oleh parameter-parameter dalam kontrol PID dapat dilihat pada Tabel 4.4



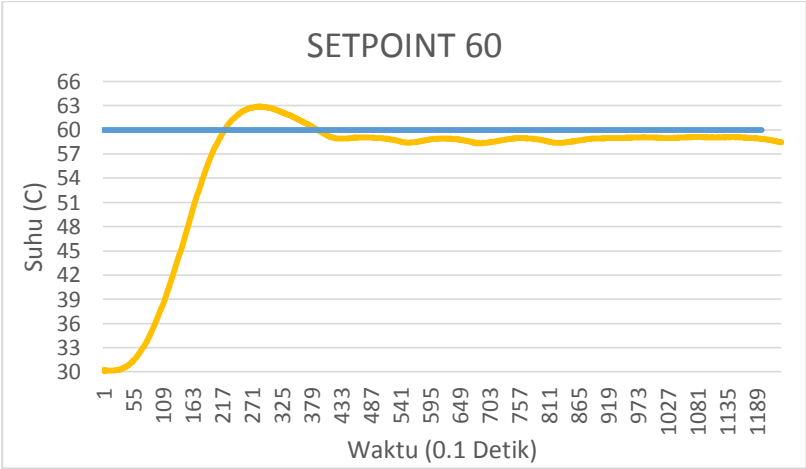
Gambar 4.8 Hasil Pengujian LM35 dan Termometer Digital



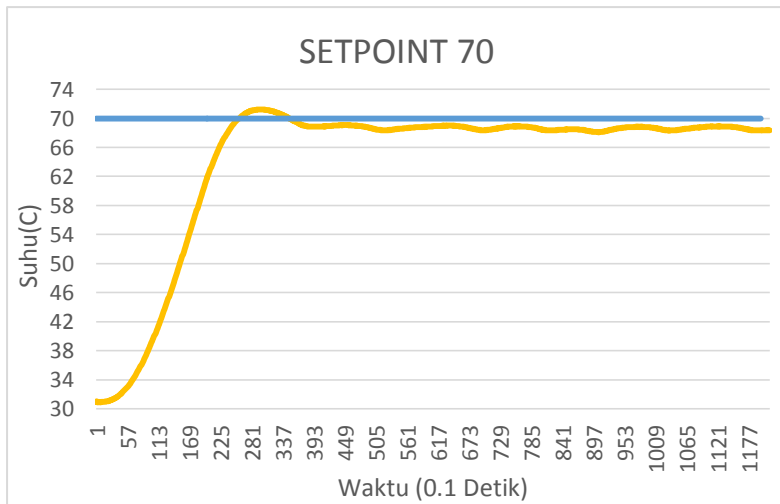
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.9 Grafik Respon Suhu (a) SetPoint 40 (b) SetPoint 50 (c) SetPoint 60 (d) SetPoint 70

Tabel 4.4 Efek yang disebabkan oleh parameter kontrol PID

SetPoint	Settling Time (detik)	Rise Time (detik)	Over Shoot (%)	Steady State Error (%)
40	45.2	13.1	14.7526	6
50	45.1	18.8	8.8794	2.49
60	43.5	22.2	4.7902	1.6376
70	39	25.9	1.7506	1.8861

4.6 Pengujian Non-Inverting Amplifier

Pada Rangkaian ini dilakukan pengujian terhadap rangkaian non-inverting amplifier, hal ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya error pada penguatan sistem sensor thermopile. Digunakan R_f 10K Ω dengan gelang toleransi emas $\pm 5\%$, dan R_i 1K Ω dengan gelang toleransi emas $\pm 5\%$. Apabila mengikuti teori, maka penguatan dari rangkaian di atas 11 kali. Seperti pengujian-pengujian sebelumnya, AVO meter yang akan digunakan adalah merk Yokogawa Pengujian ini

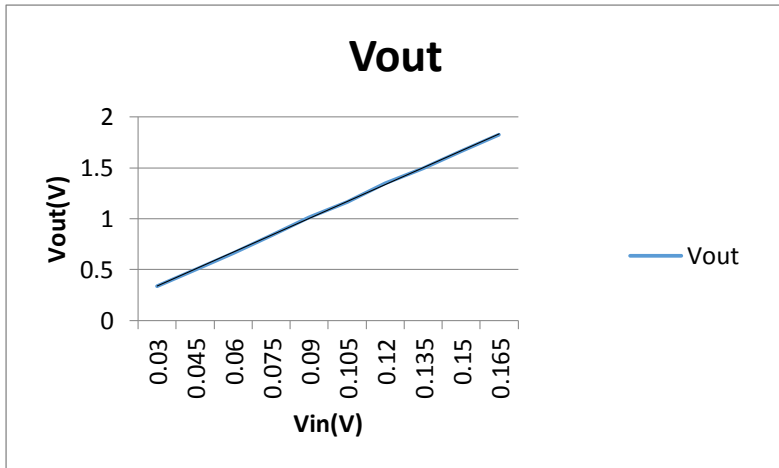
menggunakan power supply dan *multiturn* untuk mengatur tegangan yang akan dikuatkan. Rumus Non-Inverting dari penelitian ini adalah

$$V_{out} = 11 \times V_{in} \quad (4.2)$$

Dari tabel pengujian pada table 4.5, error yang terjadi akibat penguatan non-inverting tidak lebih dari 3 %. Berikut ini grafik Vin VS Vout hasil penguatan non-inverting.

Tabel 4.5 Pengujian Non-Inverting

V _{in} (V)	V _{out} (V)
0.030	0.336
0.045	0.500
0.060	0.664
0.075	0.835
0.09	1.016
0.105	1.167
0.12	1.35
0.135	1.494
0.15	1.663
0.165	1.828



Gambar 4.10 Grafik Vin VS Vout Non Inverting Amplifier

Terlihat Vout sebanding dengan Vin, dan memiliki garis linear yang lurus. Misal dengan Vin 0.03 mV, seharusnya Vout apabila menggunakan rumus Non-Inverting Amplifier adalah 0.330, akan tetapi pada prakteknya tegangan yang dihasilkan 0.336, terjadi error sebesar 1.8 % dari hasil tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan pengukuran pada Vin kurang tepat, 3 digit dibelakang koma tidak disertakan. Pada Vin yang kedua, adalah 0.045 seharusnya Vout adalah 0.495 akan tetapi pada prakteknya 0.500, terjadi error sebesar 0.005 yaitu 1 % dari nilai yang seharusnya. Pada Vin yang ketiga adalah 0.06, seharusnya Vout adalah 0.660 akan tetapi yang terjadi 0.664, terjadi error sebesar 0.6%. Pada Vin yang keempat 0.075, Vout seharusnya adalah 0.825 akan tetapi yang terjadi adalah 0.835 berarti error yang terjadi adalah 1.2%. Lalu berikutnya Vin adalah 0.09 seharusnya 0.99 akan tetapi yang terjadi adalah 1.016. Pada input ini terjadi error yang paling besar, yaitu 2.5%. Pada Vin setelah ini hanya terjadi error yang sedikit dibanding dengan Vin 0.09.

4.7 Pengujian Sensor Thermopile

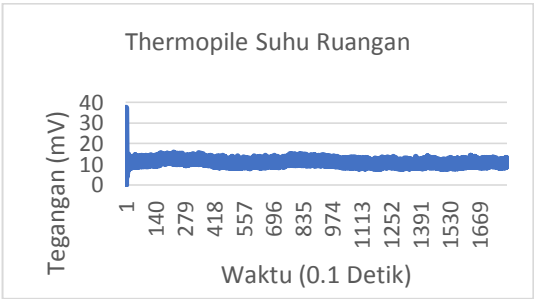
Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat bagaimana perubahan keluaran sensor thermopile terhadap perubahan suhu sumber inframerah. Thermopile merupakan sensor inframerah *non-contact* yang berubah semakin besar seiring perubahan suhu sumber inframerah yang mencerminkan emisi dari cahaya inframerah pada 120° di depan lensanya. Pada pengujian ini sensor thermopile terletak 3.5 cm di depan sumber inframerah dan di antaranya terdapat tabung sampel. Pada tabel 4.7 akan diberikan hasil pengujian dari sensor thermopile terhadap kenaikan sumber inframerah.

4.7.1 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu Ruangan

Untuk pengujian ini, thermopile akan diuji keluarannya apakah bisa membaca gelombang inframerah yang melalui tabung. Hasil Pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dari gambar tersebut didapati rata-rata amplitudo dari 10.12646. Suhu ruangan yang dideteksi oleh sensor suhu berada pada sekitar 30 °C.

Tabel 4.6 Pengujian Keluaran Thermopile

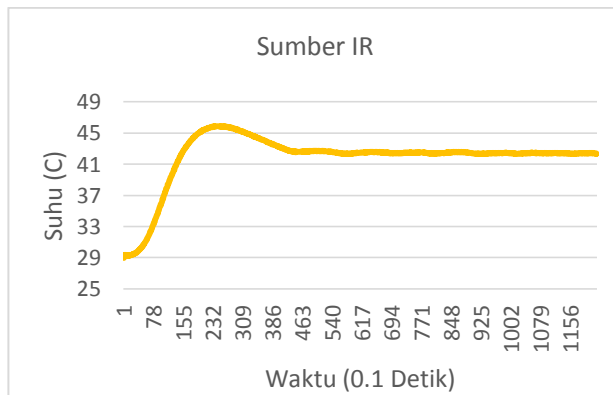
Suhu Sumber IR (C)	Keluaran Thermopile (mV)
30	10.12646
40	71.506
50	116.84
60	138.47
70	164.32



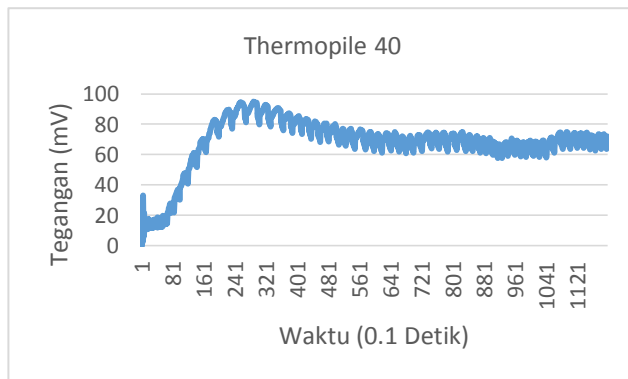
Gambar 4.11 Grafik Keluaran Thermopile Suhu Ruangan

4.7.2 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 40 ° C

Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat respon keluaran dari thermopile pada keadaan suhu sumber inframerah 40 ° C. Pengujian kedua ini akan dilihat keluaran rata-rata dari thermopile apabila suhu sumber inframerah dinaikkan menjadi 40 ° C. Pada Gambar 4.10 (a) terlihat kenaikan suhu dari sumber inframerah, dan pada Gambar 4.10 (b) terlihat respon dari keluaran thermopile. Pada Gambar 4.10 (b) ketika thermopile dalam keadaan *steady state* rata-rata keluarannya adalah 71.506 mV



(a)

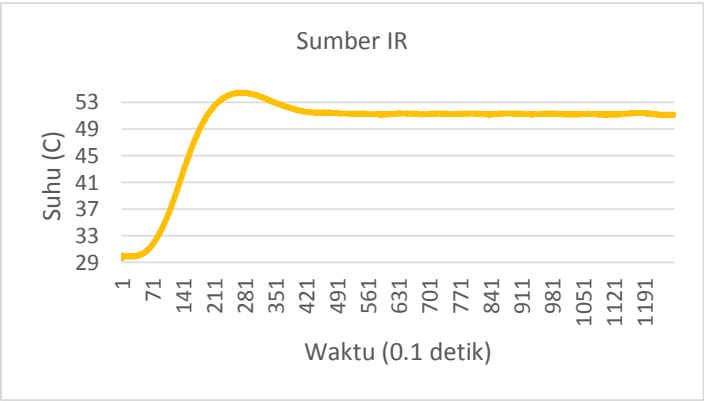


(b)

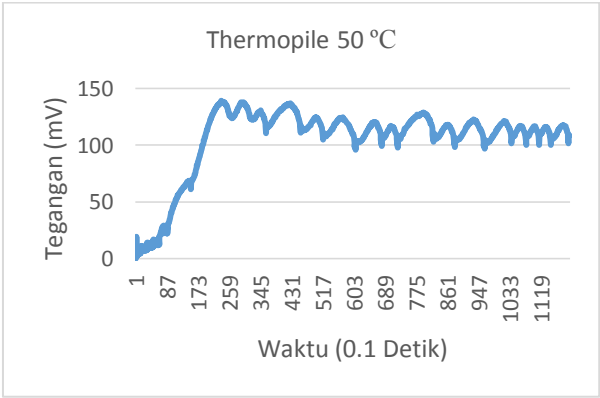
Gambar 4.12 (a) Grafik Sumber IR 40 ° C (b) Respon Thermopile

4.7.3 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 50 ° C

Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat respon thermopile terhadap perubahan suhu sumber inframerah pada 50 ° C. Grafik keduanya dapat dilihat pada gambar 4.11 (a) dan (b). Dari gambar terlihat kedua gambar memiliki pola kenaikan yang sama, akan tetapi berbeda amplitudo dibandingkan dengan suhu yang lain. Pada saat sumber IR *steady state* keluaran thermopile memiliki rata-rata 116,84 mV



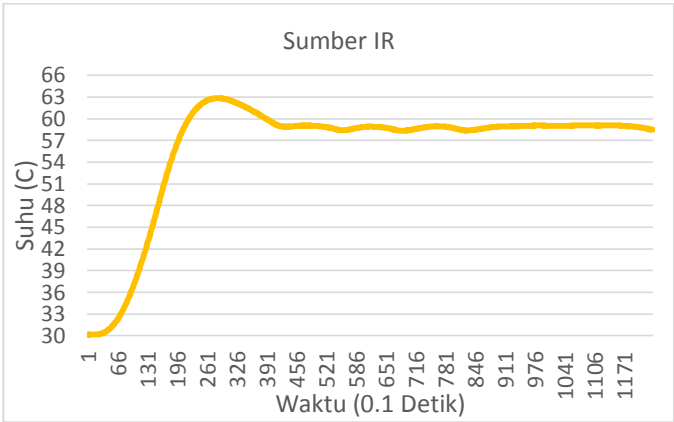
(a)



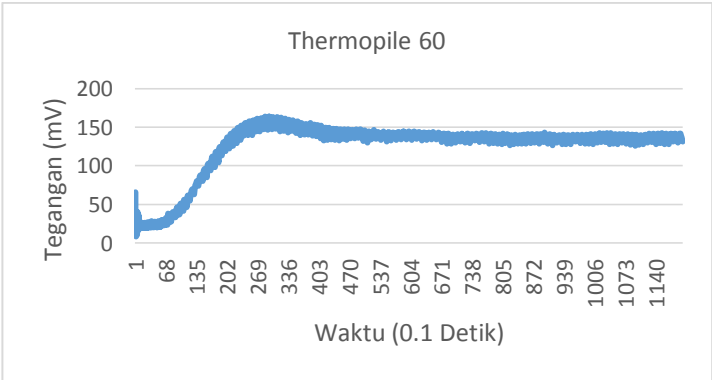
Gambar 4.13 (a) Grafik Sumber IR 50 ° C (b) Respon Thermopile

4.7.4 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 60 ° C

Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat respon thermopile dari radiasi inframerah yang dipancarkan oleh kawat nikrom pada suhu 60 °C. Pola gambar ditunjukkan oleh respon thermopile terlihat mirip oleh pembacaan keluaran dari LM35 yang digunakan untuk mengukur suhu pada sumber inframerah. Keluaran rata-rata thermopile saat sumber IR sudah *steady-state* adalah 138.47 mV



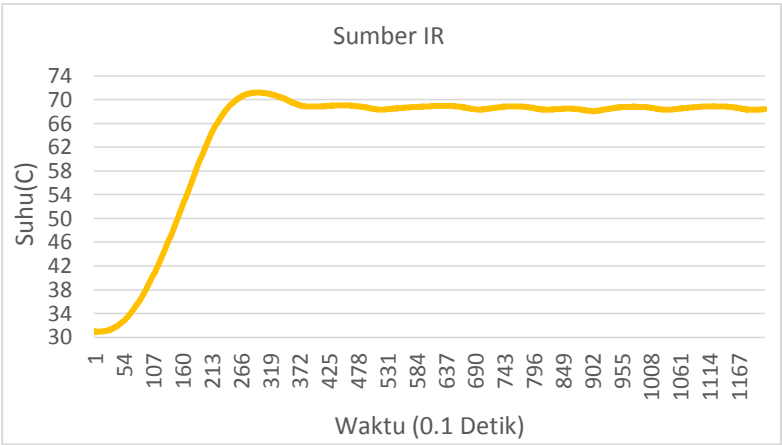
(a)



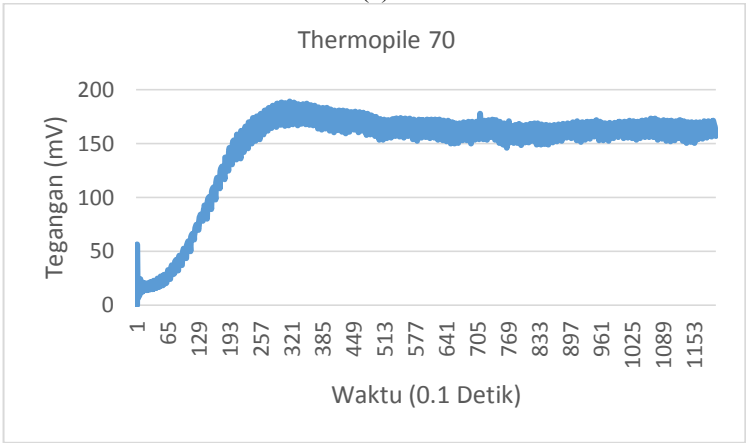
Gambar 4.14 (a) Grafik Sumber IR 60 ° C (b) Respon Thermopile

4.7.5 Pengujian Keluaran Thermopile Pada Suhu 70 ° C

Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat respon keluaran thermopile pada sumber inframerah saat bersuhu 70 ° C. Sama halnya dengan pengujian pada suhu 60 ° C, pola yang dihasilkan oleh thermopile apabila dibandingkan dengan sumber IR memiliki kemiripan. Rata-rata keluaran thermopile pada saat *steady-state* 164.32 mV.



(a)



(b)

Gambar 4.15 (a) Grafik Sumber IR 70 ° C (b) Respon Thermopile

4.8 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu Ruangan

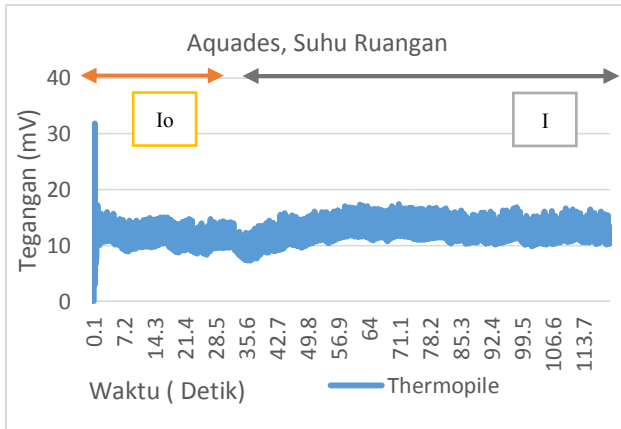
Pada sub bab ini bertujuan untuk melihat bagaimana respon sistem NDIR terhadap suhu ruangan. Prosedur yang dilakukan untuk membuat suhu ruangan yaitu dengan cara membuat keluaran CCR PWM pada STM32F4 menjadi 0, sehingga sumber inframerah tidak mengeluarkan panas. Akan tetapi sumber inframerah mengeluarkan lompatan-lompatan inframerah kecil. Setelah pengambilan data I_0 (Udara Bersih) selama 30 detik, katub yang terhubung menuju alkohol diputar untuk mengalirkan sampel dan melihat perubahan terhadap I (Alkohol). Pada Tabel 4.7 dapat dilihat secara jelas perubahan NDIR terhadap masing-masing sampel.

4.8.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades

Pada pengujian ini bertujuan untuk melihat respon perubahan dari aquades atau aquades terhadap penyerapan inframerah pada suhu ruangan yang berada pada 28 – 30 °C. Grafik dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.14. Rata-rata amplitudo pada saat keadaan I_0 adalah 10.855 mV sedangkan pada saat I adalah 11.858. Transmittansi yang terjadi antara I_0 dan I mengalami kenaikan saat dilewati aquades yang berada pada nilai 0.915418. Pada keadaan ini nilai absorbansinya adalah -0.03838

Tabel 4.7 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu Ruangan

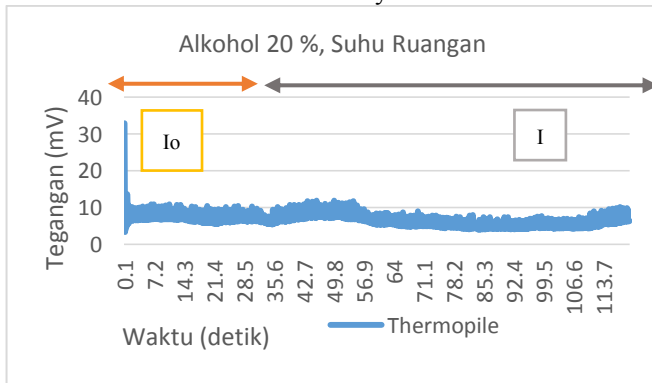
Sampel	I_0 (mV)	I (mV)	T	A
Aquades	10.855	11.858	0.915418	-0.03838
20%	7.13	5.86	1.21	0.0846
60%	-	-	-	-



Gambar 4.16 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu Ruangan

4.8.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %

Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon thermopile terhadap alkohol 20 % pada suhu ruangan. Grafik pengujian bisa dilihat pada gambar 4.15. Garis berwarna *orange* merupakan penanda bahwa pada *range* waktu tersebut merupakan udara bersih (*Io*) dan garis berwarna abu-abu menandakan bahwa pada rentang waktu tersebut sampel alkohol 20% (*I*). Rata-rata amplitudo pada *Io* adalah 7.13 sedangkan *I* adalah 5.86. Dari perhitungan didapati nilai transmitansi adalah 1.21 yang menandakan bahwa nilai absorpsinya 0.084619



Gambar 4.17 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu Ruangan

4.8.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %

Pengujian sistem NDIR di suhu ruangan oleh alkohol 60 % tidak menimbulkan respon pada thermopile, karena tegangan keluarannya 0.

4.9 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 50 ° C

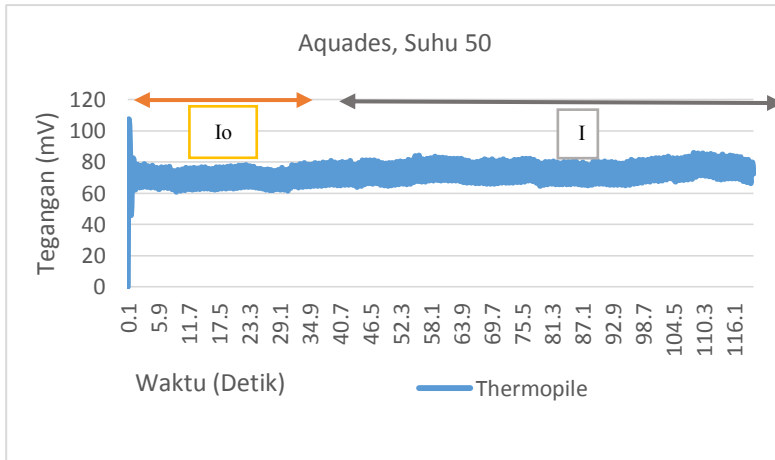
Pada pengujian ini bertujuan untuk mengamati bagaimana respon Sistem NDIR ini pada suhu 50°C. Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini adalah dengan cara mengontrol suhu dari sumber IR sesuai kontrol PID yang akan keluar pada PWM STM32F4. Setelah suhu sumber stabil maka akan dihitung perubahan antara I_0 yang berada pada 30 detik awal dengan I yang berada pada 35 detik – 120 detik. Pada Tabel 4.9 dapat dilihat perubahan I_0 , I , serta transmitansi pada masing-masing sampel yang diujikan.

4.9.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades

Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 50 °C terhadap aquades. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.16. Rata-rata amplitudo I_0 yang dihasilkan adalah 70.896, rata-rata I yang dihasilkan adalah 75.231. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 0.9424 dan nilai absorpsinya -0.026. Pada aquades sistem NDIR cenderung naik karena tidak ada inframerah yang terserap.

Tabel 4.9 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 50 ° C

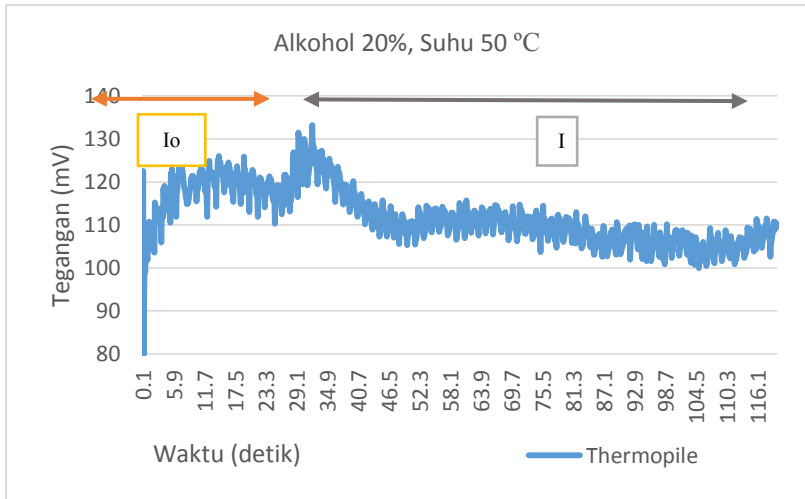
Sampel	I_0 (mV)	I(mV)	T	A
Aquades	70.896	75.231	0.9424	-0.026
20%	118.5667	109.28	1.085	0.0354
60%	128.87	123.03	1.0475	0.0202



Gambar 4.18 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu 50 C

4.9.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %

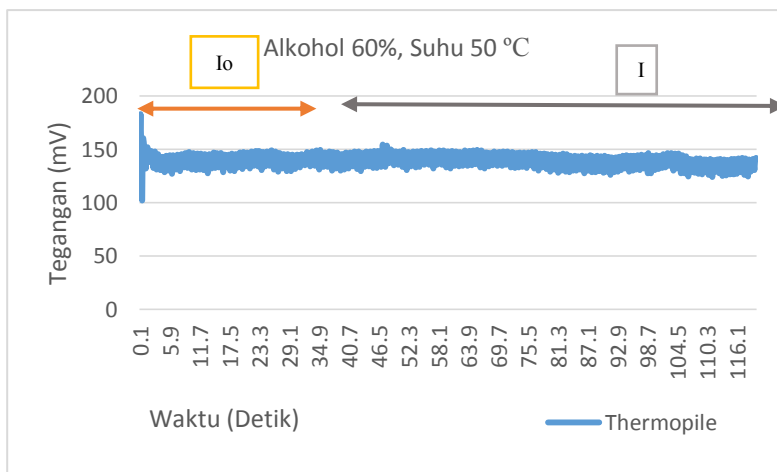
Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 50 °C terhadap alkohol 20 %. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.17. Rata-rata amplitudo I_o yang dihasilkan adalah 118.5667, rata-rata I yang dihasilkan adalah 109.28. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 1.085 dan nilai absorpsinya 0.0354. Pada alkohol 20% saat suhu 50 °C sistem NDIR cenderung turun karena alkohol menyerap gelombang inframerah.



Gambar 4.19 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu 50°C

4.9.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %

Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 50 °C terhadap alkohol 60 %. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.18. Rata-rata amplitudo I_o yang dihasilkan adalah 128.87, rata-rata I yang dihasilkan adalah 123.03. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 1.0475 dan nilai absorpsinya 0.0202. Pada alkohol 60% saat suhu 50 °C sistem NDIR cenderung turun akan tetapi tidak sebanyak pada alkohol 20%.



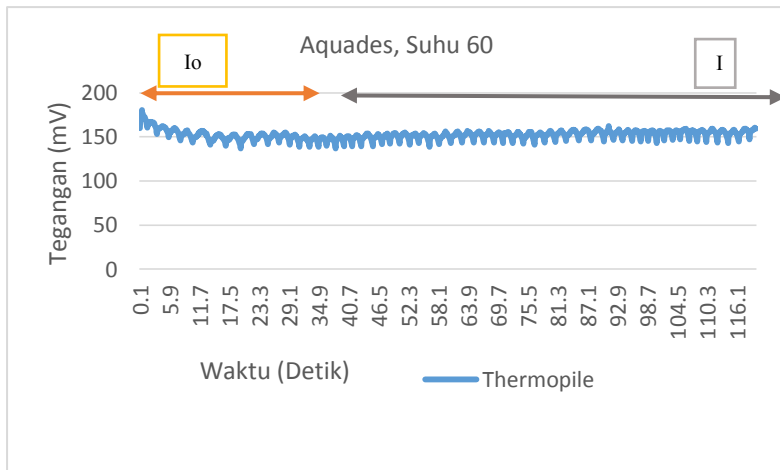
Gambar 4.20 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 60% Suhu 50°C

4.10 Pengujian Sistem NDIR pada pada Suhu 60 ° C

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengamati bagaimana respon Sistem NDIR ini pada suhu 60 ° C. Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini adalah dengan cara mengontrol suhu dari sumber IR sesuai kontrol PID yang akan keluar pada PWM STM32F4. Setelah suhu sumber stabil maka akan dihitung perubahan antara I_o yang berada pada 30 detik awal dengan I yang berada pada 35 detik – 120 detik. Pada Tabel 4.10 dapat dilihat perubahan I_o , I , serta transmitansi pada masing-masing sampel yang diujikan.

Tabel 4.10 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 60 ° C

Sampel	I_o (mV)	I (mV)	T	A
Aquades	150.4288	152.5135	0.986	-0.00598
20%	207.2493	202.6017	1.02294	0.00985
60%	138.092	131.6686	1.048785	0.030686



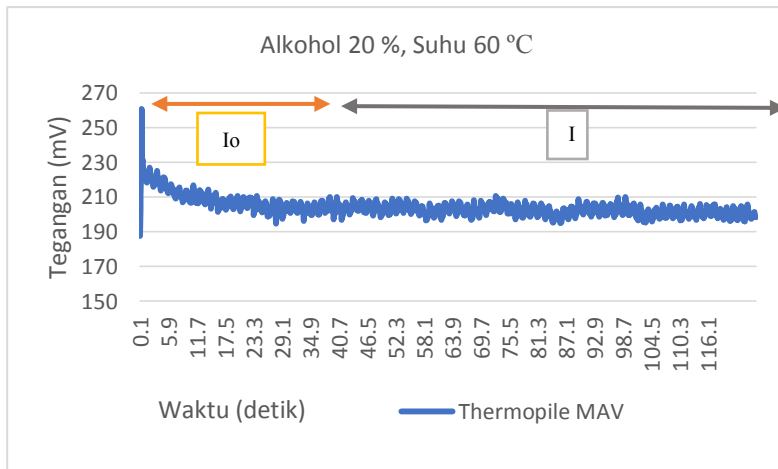
Gambar 4.21 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu 60°C

4.10.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades

Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 60 °C terhadap aquades. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.19. Rata-rata amplitudo I_o yang dihasilkan adalah 150.4288, rata-rata I yang dihasilkan adalah 152.5135. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 0.986 dan nilai absorpsinya -0.00598. Pada aquades sistem NDIR cenderung naik karena tidak ada inframerah yang terserap.

4.10.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %

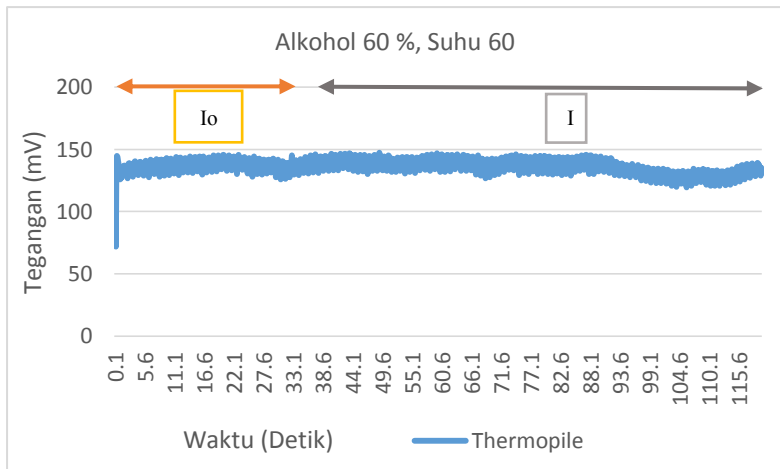
Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 60 °C terhadap alkohol 20 %. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.19. Rata-rata amplitudo I_o yang dihasilkan adalah 207.2493, rata-rata I yang dihasilkan adalah 202.6017. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 1.02294 dan nilai absorpsinya 0.00985. Pada alkohol 20% sistem NDIR cenderung turun karena inframerah yang terserap oleh konsentrasi alkohol.



Gambar 4.22 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu 60°C

4.10.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %

Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 60 °C terhadap alkohol 60 %. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.21. Rata-rata amplitudo I_o yang dihasilkan adalah 138.092, rata-rata I yang dihasilkan adalah 131.6686. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 1.048785 dan nilai absorpsinya 0.030686. Pada alkohol 60% sistem NDIR cenderung turun lebih banyak dibanding pada alkohol 20 % karena inframerah yang terserap oleh konsentrasi alkohol.



Gambar 4.23 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 60% Suhu 60°C

4.11 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 70 ° C

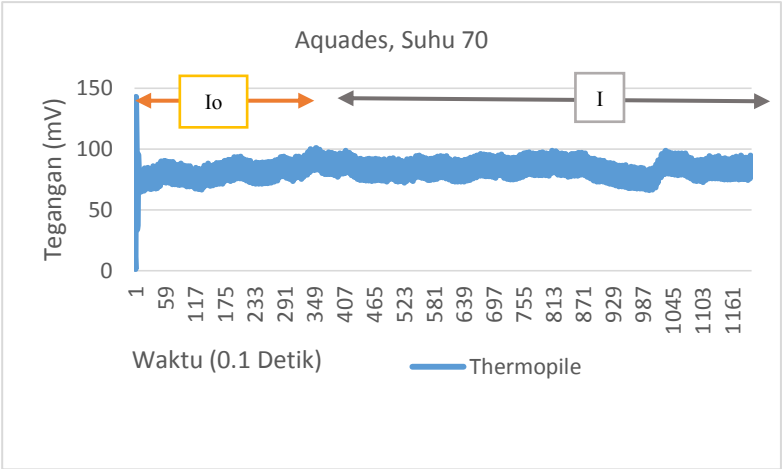
Pada pengujian ini bertujuan untuk mengamati bagaimana respon Sistem NDIR ini pada suhu 70 °C. Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini adalah dengan cara mengontrol suhu dari sumber IR sesuai kontrol PID yang akan keluar pada PWM STM32F4. Setelah suhu sumber stabil maka akan dihitung perubahan antara I_o yang berada pada 30 detik awal dengan I yang berada pada 35 detik – 120 detik. Pada Tabel 4.11 dapat dilihat perubahan I_o , I , serta transmitansi pada masing-masing sampel yang diujikan.

Tabel 4.11 Pengujian Sistem NDIR pada Suhu 70 ° C

Sampel	I_o (mV)	I (mV)	T	A
Aquades	79.64152	84.39802	0.943642	-0.02519
20%	414.8529	400.8348	1.034972	0.014929
60%	206.0484	195.4451	1.054252	0.022944

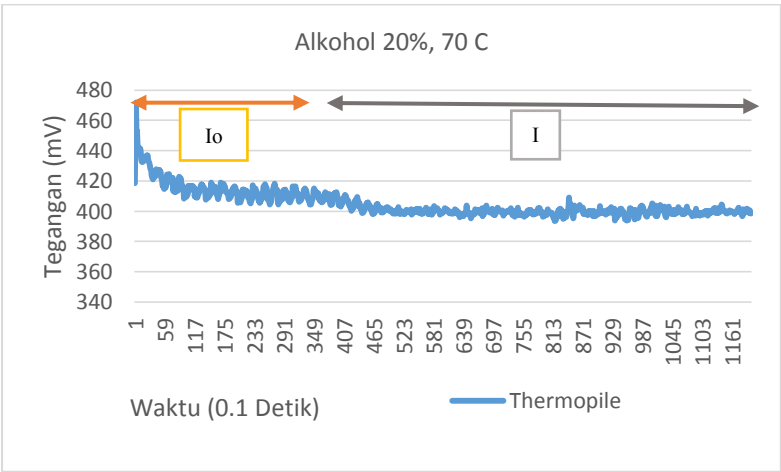
4.11.1 Pengujian Sistem NDIR terhadap Aquades

Pada pengujian bertujuan untuk melihat respon suhu 70 °C terhadap aquades. Grafik hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.21. Rata-rata amplitudo I_o yang dihasilkan adalah 79.64152, rata-rata I yang dihasilkan adalah 84.39802. Dari kedua nilai di atas nilai transmitansinya adalah 0.943642 dan nilai absorbsinya -0.02519. Pada aquades sistem NDIR cenderung naik karena tidak ada inframerah yang terserap.



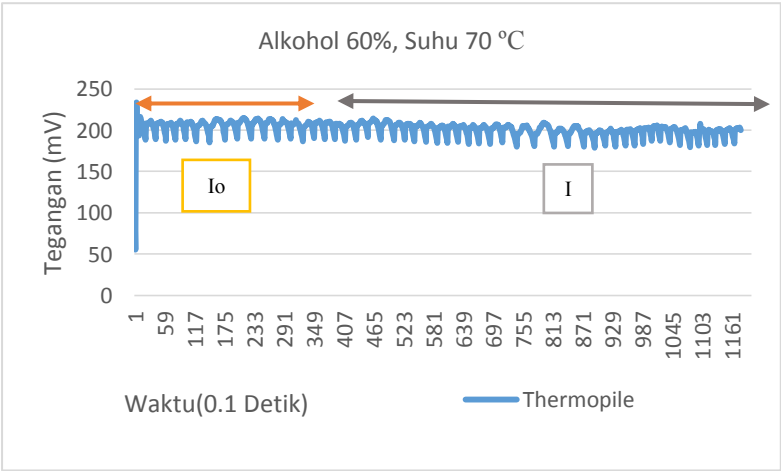
Gambar 4.24 Respon Sistem NDIR pada Aquades Suhu 70°C

4.11.2 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 20 %



Gambar 4.25 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 20% Suhu 70°C

4.11.3 Pengujian Sistem NDIR terhadap alkohol 60 %



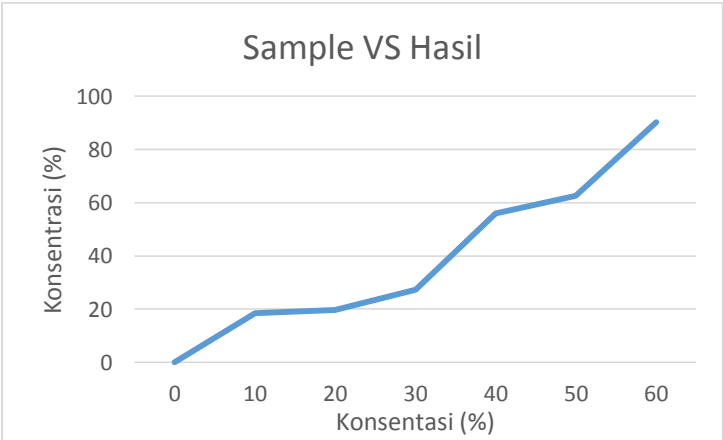
Gambar 4.26 Respon Sistem NDIR pada Alkohol 60% Suhu 70°C

4.12 Pengujian Error Sistem NDIR

Untuk menguji error dari sistem NDIR ini akan digunakan parameter suhu 60°C, dan sampel yang diujikan ada 7 buah konsentrasi yaitu aquades, alkohol 10%, alkohol 20 %, alkohol 30 %, alkohol 40%, alkohol 50 %, dan alkohol 60 %. Pengujian dilakukan 5 kali dan didapatkan hasil rata-rata pengujian dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Pengujian Error Sistem NDIR

Sampel	Nilai Terbaca(%)	Error (%)
Aquades	-4.4453	4.4453
10 %	16.8257	6.8257
20 %	28.3533	8.3533
30 %	32.922	2.9223
40 %	55.8296	15.8296
50 %	61.8585	11.8585
60 %	89.9268	29.9268



Gambar 4.27 Grafik VS Hasil Pengujian

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dibangun sebuah sistem Non-Dispersive Infraed yang dapat mengukur konsentrasi Alkohol dengan menggunakan sebuah kawat nikrom, serta menggunakan mikrokontroler STM32F4-Discovery sebagai otak pemikirnya. Sistem pengukuran yang dibangun terdiri atas beberapa rangkaian yaitu, rangkaian driver sumber inframerah yang menggunakan power supply AC, lalu rangkaian penguat non-inverting serta penguat differential. Sistem penguat *cascade* 1000x digunakan untuk meningkatkan sinyal thermopile yang awalnya berada pada orde μV menjadi orde mV. Semua Operational Amplifier menggunakan OP27, selain harganya terjangkau juga memiliki tinggi kepresisian yang tinggi dalam hal penguatan. Untuk Menghasilkan intensitas inframerah yang konstan digunakan PID dengan Kp sebesar 60, Ki sebesar 0.01 dan Kd sebesar 0.5. Hasil error dari Sistem NDIR ini ketika diuji menggunakan sampel aquades dan alkohol konsentrasi 10 – 30 % menghasilkan error tidak lebih dari 10%, sedangkan ketika diuji menggunakan alkohol konsentrasi 40 – 60% menghasilkan error yang bervariasi antara 11-29 %. Dapat disimpulkan bahwa kepresisian sistem NDIR ini adalah saat diujikan dengan aquades dan alkohol 10-30 %

5.2. Saran

Pada pengukuran yang menggunakan thermopile, diharapkan bisa menciptakan ampliflier yang memiliki low pass filter yang lebih presisi sehingga bentuk sinyal thermopile bisa lebih bagus lagi sehingga analisa absorbansi bisa lebih optimal. Untuk penelitian dengan Metode NDIR selanjutnya diharapkan menggunakan alat uji alkohol dengan variasi konsentrasi antara 1- 5 %.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Petrucci, R.H, “Kimia Dasar : Prinsip dan Terapan Modern”, Diterjemahkan oleh Suminar, Erlangga, Jakarta, 1985.
- [2] Patrick N. Breysse, Peter S.J. Lees,”Gases and Vapors” Johns Hopkins University,2006.
- [3] Organic chemistry IUPAC nomenclature. Alcohols Rule C-201.
- [4] Li Ren-wang, Xiong Ye-Pan, Wang Yong-jian, Wan fen,"Research on Infrared Breath Alcohol Test Based on Differential Absorption", 1st ICISE2009
- [5] Crawley, Louise Helen, "Application of Non-Dispersive Infrared (NDIR) Spectroscopy to the Measurement of Atmospheric Trace Gases", Thesis Master of Science in Environmental Science, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand
- [6] Seitz, Jason ; Tong, Chenan (May 2013). SNAA207 - LMP91051 NDIR CO2 Gas Detection System. Texas Instruments.
- [7] Fajar Budiman,”Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Jenis Cairan Menggunakan Sensor Fotodioda dan Pyroelectric Infrared”, Tugas Akhir S1 Teknik Elektro ITS Surabaya, 2010.
- [8] Datasheet TS-118
- [9] Hastuti 2009
- [10] Pujiono Rangkaian Elektronika Analog 2012
- [11] C. Sriprachuabwong, C. Srichan, T. Lomas and A. Tuantranont,” Simple RC Low Pass Filter Circuit Fabricated by Unmodified Desktop Inkjet Printer”, IEEE, 2008.
- [12] Ersha Okta Rahadian,"IMPLEMENTASI SISTEM LOCK-IN AMPLIFIER PADA PENGUKURAN KONSENTRASI GAS MENGGUNAKAN CAHAYA INFRAMERAH", Tugas Akhir S1 Teknik Elektro ITS Surabaya, 2015
- [13] Datasheet OP27
- [14] Data Brief STM34F4, www.st.com
- [15] Reference Manual RM0090, www.st.com
- [16] MAX232, Maxim IC, data sheets

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

PROGRAM STM32F4

```
#include "stm32f4xx.h"
#include "delay.h"
#include "lcd_biaya.h"
#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
#include "stm32f4xx_adc.h"
#include "stm32f4xx_gpio.h"
#include "stm32f4xx_rcc.h"
#include "math.h"
#include "stm32f4xx_dma.h"
#include "stm32f4xx_usart.h"
#define bool int
#define true 1
#define false 0

//Variabel2
uint16_t ADC_Val;
uint16_t PrescalerValue;
char screen[255], screen1[255];
float aa,aa1=0;
float bb,bb1=0;
float error_sebelum=0;
float setpoint =0;
signed error,errorI,errorD, output;
float suhu[100],ther[10000];
float PWM=0;
int i=0;
int a,j,cc,cc1=0;
float Kp= 60;
float Kd=0.5;
float Ki=0.01;
float eps=0.01;
float dt=0.01;
int hitung=0;
bool sis;
```

```

bool go;
__IO uint16_t ADCConvertedValue[2];

//Konfigurasi Pin PWM
void init_pwm_timer_4()
{
/*Structures used in the configuration*/
TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_TimeBaseStructure;
TIM_OCInitTypeDef TIM_OCInitStructure;
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

/* Enable TIM4 Clock */
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM4, ENABLE);

RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOD, ENABLE);

//documentation
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOB, ENABLE);

GPIO_InitStructure.GPIO_Pin=GPIO_Pin_13 | GPIO_Pin_14
| GPIO_Pin_15;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP ;
GPIO_Init(GPIOD, &GPIO_InitStructure);

//initailise pin 6 B - relating to timer 4 channel 1
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_2MHz;
GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP ;
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

GPIO_PinAFConfig(GPIOB,GPIO_PinSource6,GPIO_AF_TIM4);
GPIO_PinAFConfig(GPIOD,GPIO_PinSource13,GPIO_AF_TIM4);

```

```

GPIO_PinAFConfig(GPIOD,GPIO_PinSource14,GPIO_AF_TIM4)
;
GPIO_PinAFConfig(GPIOD,GPIO_PinSource15,GPIO_AF_TIM4)
;

/* Setup PWM */
//uint16_t PrescalerValue = 0;
//PrescalerValue = (uint16_t) ((SystemCoreClock /2) /
21000000) - 1;

/* Setup timer defaults */
TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 2099;
TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0;
TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0;
TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode =
TIM_CounterMode_Up;

TIM_TimeBaseInit(TIM4, &TIM_TimeBaseStructure);

/* Configure timer for PWM - channel 1*/
TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState =
TIM_OutputState_Enable;
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 0;
TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity =
TIM_OCPolarity_High;

//notice the number 1 in TIM_OC1Init
TIM_OC1Init(TIM4, &TIM_OCInitStructure);
TIM_OC1PreloadConfig(TIM4, TIM_OCPreload_Enable);

/* Configure timer for PWM - channel 2 */
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState =
TIM_OutputState_Enable;
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 0;
TIM_OC2Init(TIM4, &TIM_OCInitStructure);
TIM_OC2PreloadConfig(TIM4, TIM_OCPreload_Enable);

```



```

/* Configure timer for PWM - channel 3*/
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState           =
TIM_OutputState_Enable;
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 0;
TIM_OC3Init(TIM4, &TIM_OCInitStructure);
TIM_OC3PreloadConfig(TIM4, TIM_OCPreload_Enable);

/* Configure timer for PWM - channel 4 */
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState           =
TIM_OutputState_Enable;
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 0;
TIM_OC4Init(TIM4, &TIM_OCInitStructure);
TIM_OC4PreloadConfig(TIM4, TIM_OCPreload_Enable);
TIM_ARRPreloadConfig(TIM4, ENABLE);

/* Start timer*/
TIM_Cmd(TIM4, ENABLE);}

//Konfigurasi Pin ADC
void ADC_Config(void)
{
    ADC_InitTypeDef
        ADC_init_structure;
    GPIO_InitTypeDef
        GPIO_initStructre;
    ADC_CommonInitTypeDef    ADC_CommonInitStructure;
    DMA_InitTypeDef          DMA_InitStructure;

    //Clock configuration
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_ADC1,ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1ENR_GPIOCEN
    RCC_AHB1ENR_GPIOAEN ,ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_DMA2,ENABLE);

    DMA_DeInit(DMA2_Stream4);

    //Set DMA registers to default values

```

```

DMA_InitStructure.DMA_Channel = DMA_Channel_0;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr           =
(uint32_t)&ADC1->DR;
    //Source address
DMA_InitStructure.DMA_Memory0BaseAddr             =
(uint32_t)&ADCConvertedValue; //Destination address
DMA_InitStructure.DMA_DIR                         =
DMA_DIR_PeripheralToMemory;
DMA_InitStructure.DMA_BufferSize = 2; //Buffer size
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralInc               =
DMA_PeripheralInc_Disable;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryInc                   =
DMA_MemoryInc_Enable;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralDataSize=
DMA_PeripheralDataSize_HalfWord;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize              =
DMA_MemoryDataSize_HalfWord; = 16b
DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;

//DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Normal;
DMA_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_High;
DMA_InitStructure.DMA_FIFOMode                    =
DMA_FIFOMode_Disable;
DMA_InitStructure.DMA_FIFOThreshold               =
DMA_FIFOThreshold_HalfFull;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryBurst                  =
DMA_MemoryBurst_Single;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBurst              =
DMA_PeripheralBurst_Single;
DMA_Init(DMA2_Stream4,                          &DMA_InitStructure);
//Initialize the DMA
DMA_Cmd(DMA2_Stream4, ENABLE); //Enable the DMA2 -
Stream 4

//Analog pin configuration
GPIO_StructInit(&GPIO_initStructre);
GPIO_initStructre.GPIO_Pin = GPIO_Pin_2;
GPIO_initStructre.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AN;

```

```

GPIO_initStructre.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL; //We
don't need any pull up or pull down
GPIO_Init(GPIOC,&GPIO_initStructre);
//Affecting the port with the initialization
structure configuration
GPIO_initStructre.GPIO_Pin = GPIO_Pin_1;
GPIO_initStructre.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AN;
configured in analog mode
GPIO_initStructre.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL; //We
don't need any pull up or pull down
GPIO_Init(GPIOA,&GPIO_initStructre);
//ADC structure configuration

ADC_DeInit();
ADC_init_structure.ADC_DataAlign                =
ADC_DataAlign_Right;
    //data converted will be shifted to right
ADC_init_structure.ADC_Resolution                =
ADC_Resolution_12b;
    //Input voltage is converted into a 12bit
number giving a maximum value of 4096
ADC_init_structure.ADC_ContinuousConvMode = ENABLE;

    //the conversion is continuous, the input data
is converted more than once
ADC_init_structure.ADC_ExternalTrigConv = 0;
    // conversion is synchronous with TIM1 and CC1
(actually I'm not sure about this one :)
ADC_init_structure.ADC_ExternalTrigConvEdge      =
ADC_ExternalTrigConvEdge_None;//no trigger for
conversion
ADC_init_structure.ADC_NbrOfConversion = 2;

                                                                    //I
think this one is clear :p
ADC_init_structure.ADC_ScanConvMode = ENABLE;
    //The scan is configured in one channel

```

```

ADC_Init(ADC1,&ADC_init_structure);

        //Initialize ADC with the previous
configuration

        //ADC_DMAResultAfterLastTransferCmd(ADC1,
ENABLE);
ADC_CommonInitStructure.ADC_Mode =
ADC_Mode_Independent;
ADC_CommonInitStructure.ADC_Prescaler =
ADC_Prescaler_Div2;
        //ADC_Prescaler_Div2;
ADC_CommonInitStructure.ADC_TwoSamplingDelay =
ADC_TwoSamplingDelay_20Cycles;//ADC_TwoSamplingDelay_
5Cycles;
ADC_CommonInitStructure.ADC_DMAAccessMode =
ADC_DMAAccessMode_Disabled;
        //ADC_DMAAccessMode_Disabled;
ADC_CommonInit(&ADC_CommonInitStructure);
        //ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_11
,1,ADC_SampleTime_15Cycles);

        //Select the channel to be read from
ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_1,1,ADC_Sam
pleTime_15Cycles);

        //ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_11
,2,ADC_SampleTime_3Cycles);
        ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_12,2
,ADC_SampleTime_15Cycles);

        //ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_13
,4,ADC_SampleTime_3Cycles);

        //ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_14
,5,ADC_SampleTime_3Cycles);

```

```

ADC_DMAResultAfterLastTransferCmd(ADC1, ENABLE);
ADC_DMACmd(ADC1, ENABLE);
ADC_Cmd(ADC1, ENABLE);
ADC_SoftwareStartConv(ADC1);
// Start ADC1 conversion
    }

//Konfigurasi Pin USART
void inisialisasi_usart()
{
    USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA,EN
ABLE);

    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_USART2,E
NABLE);
    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,          GPIO_PinSource2,
GPIO_AF_USART2);
    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,          GPIO_PinSource3,
GPIO_AF_USART2);

    /* Configure USART2 pins:  Rx and Tx -----
-----*/
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin   =      GPIO_Pin_2   |
GPIO_Pin_3;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
    GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

    USART_InitStructure.USART_BaudRate = 9600;
    USART_InitStructure.USART_WordLength      =
USART_WordLength_8b;
    USART_InitStructure.USART_StopBits        =
USART_StopBits_1;
    USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No;

```

```

    USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl    =
USART_HardwareFlowControl_None;
    USART_InitStructure.USART_Mode    =    USART_Mode_Rx    |
USART_Mode_Tx;
    USART_Init(USART2, &USART_InitStructure);

    USART_Cmd(USART2, ENABLE);
}

//Prosedure Pengiriman String ke PC
void send_string(const char *str)
{
    while (*str)
    {
        while(USART_GetFlagStatus(USART2,
USART_FLAG_TXE) == RESET);
        delay_ms(0.5);
        USART_SendData(USART2, *str++);
    }
}

int main(void)
{
    //Inisiasi semua konfigurasi
    inisialisasi_usart();

    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SYSCFG, ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOB, ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOC, ENABLE);
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOE, ENABLE);

    ADC_Config();
    init_GPIO();
    lcd_init(16);
    init_pwm_timer_4();
    lcd_clear();
}

```

```

while(1)
{
    //Program Utama

    if(USART_ReceiveData(USART2)=='S') {

        sprintf(screen1,"$A%.2fB%d#",aa1,cc1);
        send_string(screen1);
    }

    bb = 0;
    for (a = 0; a < 20; ++a) {
        aa = ADCConvertedValue[1]*305.99/4095;
        suhu[a]=aa;
        bb = bb + suhu[a];
    }

    aa1 = bb/20;
    cc1 = ADCConvertedValue[0];/*0.733/1000;
    lcd_gotoxy(0,0);

    sprintf(screen,"%.2f.C  SP=29",aa1);
    lcd_puts(screen);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(screen,"%d ",cc1);

    lcd_puts(screen);

}

while(USART_ReceiveData(USART2)=='C'){

    sprintf(screen1,"$A%.2fB%d#",aa1,cc1);
    send_string(screen1);
    setpoint=60;
    bb = 0;
    bb1 = 0;
    for (a = 0; a < 20; ++a) {
        aa = ADCConvertedValue[1]*305.99/4095;

```

```

    suhu[a]=aa;
    bb = bb + suhu[a];

}

aa1 = bb/20;
cc1 = ADCConvertedValue[0];/*0.733/1000;
lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(screen,"%0.2f.C  SP=%f",aa1,setpoint);
    lcd_puts(screen);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(screen1,"%d ",cc1);
    lcd_puts(screen1);
    error = setpoint - aa1;
    if (abs(error)>eps){
        errorI= errorI + (error*dt);
    }
errorD = (error - error_sebelum)/dt;
output = (Kp*error) + (Kd*errorD) + (Ki*errorI);
    PWM = output;
    if (PWM<1) {
        PWM=0;    }
    if (PWM>2098){
        PWM=2099;    }
    TIM4->CCR2 = PWM;
    error_sebelum =

error;

    }
}
}

```


TABEL PENGUJIAN SISTEM NDIR

PENGUJIAN SAMPLE SISTEM NDIR					
AQUADES					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata-Rata	Hasil Pengujian
161	160.69	1.001929	0.000837	0.002933757	-4.445381424
158.61	155.33	1.021116	0.009075		
160.2	159.99	1.001313	0.00057		
161.35	159.57	1.011155	0.004818		
158.22	158.45	0.998548	-0.00063		

ALKOHOL 10 %					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata-Rata	Hasil Pengujian
155.63	150.55	1.033743	0.014413	0.014469558	16.82575889
165.22	160.37	1.030243	0.012939		
177.78	172.48	1.030728	0.013144		
174.39	166.57	1.046947	0.019925		
179.41	174.55	1.027843	0.011927		

ALKOHOL 20 %					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata-Rata	Hasil Pengujian
166.57	162.26	1.026562	0.011385	0.016923393	28.35330563
165.77	159.99	1.036127	0.015413		
169.91	164.44	1.033264	0.014211		
155.53	149.76	1.038528	0.016418		
180.44	169.49	1.064606	0.027189		

ALKOHOL 30 %					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata- Rata	Hasil Pengujian
149.95	144.84	1.03528	0.015058	0.017773952	32.92238538
170.71	164.82	1.035736	0.015249		
168.46	160.55	1.049268	0.020886		
171.77	162.39	1.057762	0.024388		
170.24	165.11	1.03107	0.013288		

ALKOHOL 40 %					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata- Rata	Hasil Pengujian
180.99	167.19	1.082541	0.034444	0.021416684	55.82960425
179.92	169.1	1.063986	0.026936		
179.88	169.92	1.058616	0.024738		
176.33	168.9	1.043991	0.018697		
180.44	179.5	1.005237	0.002268		

ALKOHOL 50 %					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata- Rata	Hasil Pengujian
178.43	162.41	1.098639	0.040855	0.022253769	61.85857595
179.11	170.25	1.052041	0.022033		
185.53	175.35	1.058055	0.024508		
179.9	169.24	1.062987	0.026528		
177.72	178.81	0.993904	-0.00266		

ALKOHOL 60 %					
Io (mV)	I (mV)	T	A	Rata- Rata	Hasil Pengujian
169.93	160.99	1.055531	0.023471	0.025726869	89.92680276
171.41	160.65	1.066978	0.028155		
173.3	161.11	1.075663	0.031676		
172.82	160.66	1.075688	0.031686		
175.55	170.12	1.031919	0.013645		



Faraha Pambayun Julismana dilahirkan di Surabaya 29 Desember 1991. Anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Jasmono dan Juli Purwanti. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Jemurwonosari I/417 Surabaya dilanjutkan dengan pendidikan menengah di SMPN 12 Surabaya dan SMAN 2 Surabaya. Pada tahun 2010, penulis memulai pendidikannya di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) di kota Surabaya dengan konsentrasi pada bidang studi Elektronika. Selama perkuliahan, penulis aktif mengikuti kegiatan kampus seperti UKM Badminton dan juga kegiatan laboratorium sebagai asisten laboratorium Elektronika Dasar. Penulis juga pernah menjadi Ketua Panitia Kejuaraan Bulutangkis ITS OPEN 2012 yang diadakan oleh UKM Badminton dan ITS.

Email: julismana@rocketmail.com

j.p10@mhs.ee.its.ac.id